

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Prosessi- ja materiaalitekniikan osasto

Puunjalostustekniikan laitos

Petri Niemi

MASSAKOOSTUMUKSEN JA LISÄAINEIDEN VAIKUTUS VÄLIPAPERIN TARTTUVUUTEEN TERÄSNAUHAAN KYLMÄVALSSAUS-PROSESSISSA

Työn valvoja

Professori Johan Gullichsen

Työn ohjaajat

DI Vesa Eskelinen

DI Risto Leinonen

TEKNILLINEN KORKEAKOULU
Puunjalostustekniikan laitos
Kirjasto

Tekijä, työn nimi

Petri Niemi

Massakoostumuksen ja lisäaineiden vaikutus välipaperin tarttuvuuteen teräs-nauhaan kylmävalssausprosessissa

Päivämäärä: 9.12.1994**Sivumäärä:** 61**Osasto:** Prosessi- ja materiaalitekniikan osasto**Laitos:** Puunjalostustekniikan laitos**Professuuri:** Puu-23 Selluloosatekniikka**Työn valvoja**

professori Johan Gullichsen

Työn ohjaajat

DI Vesa Eskelinen

DI Risto Leinonen

Työn tavoitteena oli selvittää jaloteräksen valmistuksessa käytettävän välipaperin tarttumispotentiaalin pienentämismahdollisuuksia paperitekniseltä kannalta. Selvityksen perusteella oli tarkoitus arvioida voidaan paperin tarttumisherkkyttä teräsnauhaan pienentää muuttamatta kylmävalssausprosessin hallintasuureita.

Kirjallisuuden perusteella välipaperin tarttumispotentiaalia voidaan pienentää vähentämällä tai poistamalla paperin koostumuksesta sellaisia komponentteja, joilla on alhainen pehmenemislämpötila. Tällaisia aineita ovat ligniini, tärkkelys, hydrofobiilit ja retentioaineet. Pehmenemislämpötilat laskevat huomattavasti paperin kosteuspitoisuuden kasvaessa, joten paperin kuivatuksella voidaan vaikuttaa tarttumispotentiaaliin. Puulaji ja massanvalmistusmenetelmä vaikuttavat kirjallisuuden perusteella olennaisesti paperin tarttuvuuteen metallipintaan. Mäntysulfaattimassasta valmistetun arkin tarttuvuuden on havaittu olevan lähes nelinkertainen verrattuna koivusulfaattimassasta valmistettuun arkkiin. Lisäksi valkaisemattomien papereiden adheesio metallipintaan on voimakkaampi kuin vastaavien valkaistujen papereiden.

Kokeellisessa osassa vertailtiin kylmävalssauksessa käytettävien välipapereiden ominaisuuksia ja analysoitiin teräslevyn tarttunut kerros. Paperiteknisillä ominaisuuksilla ei kyetty selittämään papereiden tarttuvuuksissa esiintyviä eroja. Todennäköisin syy uudelleenrullatun paperin suureen tarttumisherkkyyteen on "käyttämättömiä" papereita korkeampi kosteuspitoisuus. Tartuntakerroksen analysoinnin perusteella teräslevyn pintaan oli rikastunut välipaperista ligniiniä, hydrofobiilimaa ja mahdollisesti tärkkelystä. Tarttumispotentiaalia voitaisiin näin ollen pienentää vähentämällä tai poistamalla paperin koostumuksesta kyseisiä komponentteja.

Puristinkokeissa kirjallisuuden ja esiselvitysten perusteella valittuja koepapereita puristettiin kahden öljytyn teräslevyn välissä mahdollisimman hyvin kylmävalssausta vastaavissa olosuhteissa. Kokeissa ei saatu paperia tarttumaan teräslevyyn. Tulosten perusteella voitiin kuitenkin arvioida koepapereiden käyttäytymistä korkean paineen ja lämpötilan alaisena. Papereista suoritettujen määritysten perusteella parhaiten paperitekniset ominaisuutensa kylmävalssauksessa säilyttävät valkaisemattomat UG-paperit ja valkaistu välipaperi. Pintakäsittelyt paperit todettiin kylmävalssausprosessiin soveltumattomiksi lujuusominaisuuksien romahtamisen vuoksi.

Puristinkokeissa arvioitiin myös papereiden öljynabsorption tasaisuutta. Massa- ja lisäainekoostumuksella ei havaittu olevan merkittävää vaikutusta. Kalanteroinnilla oli selvä korrelaatio öljynabsorption tasaisuuden kanssa. Kalanteroitujen papereiden MG-puolella esiintyi lievää läikikkyttä, kun taas kalanteroimattomilla UG-papereilla teräslevyn pinta oli täysin puhdas.

Torniossa SZ 1-valssaimella suoritettun koeajon perusteella voidaan paperista aiheutuvia pintavirheitä vähentää siirtymällä valkaistuun välipaperiin. Vertailukelpoisissa olosuhteissa suoritettussa koeajossa valkaistusta paperista aiheutui n. 2 %-yksikköä vähemmän pintavirheitä kuin nykyisin käytössä olevista valkaisemattomista välipapereista.

Author, name of the thesis

Petri Niemi

The effect of pulp composition and additives on the adhesion between interleaving paper and stainless steel in cold rolling process

Date: December 9, 1994**Number of pages:** 61**Faculty:** Process engineering and materials science**Department:** Forest products technology**Professorship:** Puu-23 Pulping technology**Supervisor**

Johan Gullichsen, professor

Instructors

Vesa Eskelinen, M.Sc.

Risto Leinonen, M.Sc.

The factors affecting adhesion between interleaving paper and stainless steel and the possibilities to reduce it were studied in this thesis.

In the literature part of this study it was found that the adhesion between paper and metal surface is affected by pulp composition and glass transition temperatures of paper components. The adhesion between softwood kraft pulp and steel has been found to be almost fourfold compared to the adhesion between hardwood kraft pulp and steel. It has also been discovered that unbleached papers adhere stronger to hot metal surfaces than bleached papers.

Components having low glass transition temperatures should be avoided in the manufacture of interleaving papers. For example the softening temperatures of lignin, starch, resin size and retention aids are significantly lower than maximum temperatures in the cold rolling process. The glass transition temperatures of the paper components can be affected by the moisture content of the paper. The lower the moisture content, the higher the glass transition temperatures of pulp components and additives are.

In the experimental part technical properties of different interleaving papers were compared. An adhesive layer on a stainless steel plate was analysed. There were no significant differences in the technical properties of the papers used in cold rolling process. The compositions of the adhesive layer and the paper were almost identical. Only the contents of lignin and resin size were higher in the adhesive layer than in the paper.

In the laboratory trials different papers were pressed between oiled stainless steel plates under high pressure and temperature. Adhesion between paper and steel was not achieved. The technical properties were best kept by unbleached UG papers and bleached MG paper. The strength properties of surface sized and pigment-coated papers collapsed during the pressing. Also the evenness of the oil absorption was evaluated and it was best while using UG papers.

In a short mill trial it was discovered that faults caused by interleaving paper could be reduced by using bleached paper instead of unbleached paper in the cold rolling process. Bleached papers caused 2 %-unit less faults than unbleached papers during the mill trial in Tornio cold rolling mill.

ALKUSANAT

Tämä työ on tehty Lohjan Paperi Oy:n ja Outokumpu Polarit Oy:n toimeksiannosta vuoden 1994 aikana. Haluan kiittää yrityksiä mielenkiintoisen diplomityöaiheen tarjoamisesta ja saamastani taloudellisesta tuesta.

Työn valvojana toimi professori Johan Gullichsen Teknillisestä korkeakoulusta ja työn ohjaajina DI Vesa Eskelinen Lohjan Paperi Oy:stä sekä DI Risto Leinonen Outokumpu Polarit Oy:stä. Heille esitän parhaat kiitokseni työn aikana saamistani ohjeista ja neuvoista.

Lisäksi haluan kiittää kaikkia Lohjan Paperi Oy:n ja Outokumpu Polarit Oy:n henkilökuntaan kuuluvia, jotka omalla panoksellaan edesauttoivat työn valmistumista.

Vanhemmilleni ja Päiville esitän kiitokset kannustuksesta ja taustatuesta.

Helsingissä 8.2.1995



Petri Niemi

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. VÄLIPAPERIN KÄYTTÖ JALOTERÄKSEN VALMISTUKSESSA	2
2.1 Yleistä	2
2.2 Kuumavalssaus ja valmistelulinja	2
2.3 Hehkutus- ja peittäuslinja 1	3
2.4 Kylmävalssaus	3
2.5 Nauhanhiontalinja	4
2.6 Hehkutus- ja peittäuslinjat 2 ja 3	5
2.7 Viimeistelyvalssain	5
2.8 Halkaisu- ja katkaisulinjat	5
3. VÄLIPAPERIN OMINAISUUDET JA NIIHIN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	6
3.1 Formaatio	6
3.2 Lujuusominaisuudet	8
3.2.1 Veto- ja repäisylujuus	9
3.2.2 Pintalujuus	11
3.3 Öljynabsorptio	12
3.4 Mekaaninen puhtaus	14
3.5 Kemiallinen puhtaus ja pH	15
3.6 Paksuusprofiili	15
4. VÄLIPAPERIN TARTTUMISEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	16
4.1 Taustaa	16
4.2 Paperin ja metallipinnan väliset sidokset	17
4.3 Kuituraaka-aine	17
4.3.1 Kuitujen morfologia	17
4.3.2 Kuitukomponenttien termoplastiset ominaisuudet	19
4.3.3 Puulaji ja massanvalmistusmenetelmä	21

4.4 Kemikaalit	24
4.4.1 Paperin lisäaineet	24
4.4.2 Irrokeaineet	27
4.4.3 Valssausöljy	28
4.5 Paperin rakenne	28
4.5.1 Formaatio	28
4.5.2 Pintaominaisuudet	29
4.6 Olosuhteet kylmävalssauksessa	29
4.6.1 Puristuspaine	29
4.6.2 Lämpötila	30
 5. JALOTERÄKSEN VALMISTUKSESSA KÄYTETTÄVÄN VÄLIPAPERIN TUOTE- JA PROSESSIANALYYSI	 31
5.1 Tuoteanalyysi	31
5.2 Prosessianalyysi	32
 6. KIRJALLISUUSOSAN YHTEENVETO	 34
 KOKEELLINEN OSA	 36
 7. VÄLIPAPEREIDEN PAPERITEKNINEN VERTAILU	 36
7.1 Taustaa	36
7.2 Paperinäytteet ja niiden analysointi	36
7.3 Tulokset	37
 8. TERÄKSEEN TARTTUNEEN KERROKSEN ANALYSOINTI	 39
8.1 Analyysien suoritus	39
8.2 Tartuntakerroksen koostumus	39
 9. PURISTINKOKEET	 41
9.1 Tavoite	41
9.2 Kokeiden suoritus	41
9.2.1 Koelaitteisto	41
9.2.2 Paperit	42

9.2.3 Paperinäytteiden testaus	44
9.2.4 Koeohjelma	44
9.3 Tulokset	45
9.3.1 Tarttuminen	45
9.3.2 Paksuus ja tiheys	46
9.3.3 Vetolujuus	49
9.3.4 Murtovenymä	51
9.3.5 Repäisylujuus	52
9.3.6 Öljynabsorptio	54
9.4 Johtopäätökset puristinkokeista	56
10. TUOTANTOKOEAJO	57
10.1 Koeajon suoritus	57
10.2 Tulokset ja niiden arviointi	58
11. YHTEENVETO	59
12. EHDOTUKSET JATKOTOIMENPITEIKSI	61

1. JOHDANTO

Välipapereita (engl. interleaving papers) käytetään tasomaisten materiaalien valmistuksessa suojaamaan ja erottamaan materiaaleja prosessin eri vaiheissa sekä valmiin tuotteen varastoinnin ja kuljetuksen aikana. Jaloteräksen valmistuksessa välipaperi toimii lähinnä naarmusuojana ja öljynimijänä eri prosessivaiheiden välillä /1,2/. Teräksen valmistuksessa käytettävä välipaperi on yleensä valkaisematonta, konekalanteroitua MG-paperia (machine glazed = konekiillotettu). Välipaperilta vaadittavia ominaisuuksia ovat hyvät lujuusominaisuudet, kemiallinen ja mekaaninen puhtaus, neutraali pH-arvo sekä tasainen öljynimukyky /1,3/.

Välipaperi tarttuu toisinaan lujasti kiinni teräsnauhaan kylmävalssauksen jälkeen, eikä irtoa teräsrullaa auki kelattaessa hehkutus- ja peittäuslinjan alkupäässä. Tällöin paperi repeää ja tarttuneilla alueilla paperi kulkeutuu teräsnauhan pinnalla hehkutusuuniin, jossa paperi palaa ja turmelee teräsnauhan pinnan. Tuote joudutaan hiomaan tai sen laatuluokitus heikkenee, joten tarttumisesta aiheutuu huomattavia taloudellisia menetyksiä teräksenvalmistajille.

Tässä työssä selvitettiin tarttumispotentiaalin pienentämismahdollisuuksia paperitekniseltä kannalta. Valssausteknisillä keinoilla (esim. valssausnopeuden pienentäminen) tarttumisen todennäköisyyttä voidaan pienentää, mutta toimenpiteiden seurauksena kylmävalssaimien tuotantokapasiteetti pienenee.

Työn kirjallisuusosassa selvitettiin välipaperin kriittisiä ominaisuuksia. Lisäksi kartoitettiin paperin tarttumiseen vaikuttavia tekijöitä. Kokeellisessa osassa vertailtiin kylmävalssauksessa käytettävien papereiden ominaisuuksia ja analysoitiin teräsnauhaan tarttuneen kerroksen koostumus. Tulosten perusteella valittiin paperinäytteet puristinkokeita varten. Puristinkokeiden tavoitteena oli selvittää paperin massa- ja lisäainekoostumuksen sekä viimeistelyn vaikutusta paperin tarttuvuuteen. Lopuksi suoritettiin Outokumpu Polarit Oy:n kylmävalssaamalla lyhyt tuotantokoeajo, jossa vertailtiin referenssipaperin ja valkaistun paperin käyttäytymistä kylmävalssausprosessissa.

2. VÄLIPAPERIN KÄYTTÖ JALOTERÄKSEN VALMISTUKSESSA

2.1 Yleistä

Jaloteräs on lujaa ja korroosiota kestäväää erikoisterästä, jonka käyttökohteita ovat mm. rakennus-, prosessi- ja elintarviketeollisuus. Rakennusteollisuudessa jaloterästä käytetään julkisivu- ja sisäpintoina. Elintarviketeollisuudessa jaloterästä käytetään meijerien, panimoiden ja viiniteollisuuden hygieenisyyttä vaativissa koh-teissa. Prosessiteollisuudessa mm. puunjalostusteollisuus käyttää jaloterästä prosessilaitteissaan. Ruokailuvälineet, astiat, pesukoneet, pesupöydät ja -altaat edustavat jaloteräksen käyttöaluetta kotitalouksissa /5/.

Jaloteräksen valmistusprosessi voidaan jakaa kolmeen eri vaiheeseen: raaka-aineiden sulatukseen, kuumavalssaukseen ja kylmävalssaukseen. Välipaperia käytetään ainoastaan kylmävalssauksessa. Paperi toimii eri prosessivaiheiden välillä lähinnä naarmusuojana ja öljynimijänä /5,6/.

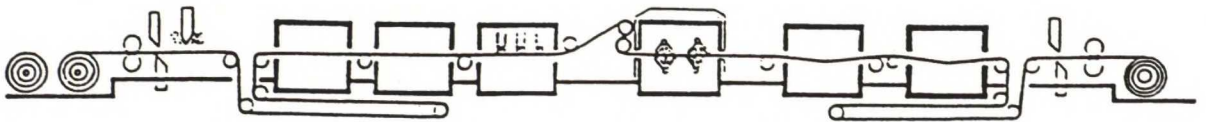
Suomessa jaloterästä valmistaa Outokumpu Polarit Oy:n Tornion tehdas. Teräksen tuotanto Tornion terästehtaalla oli vuonna 1993 n. 320 000 tonnia, josta kylmävalssatun teräksen osuus oli n. 250 000 tonnia /7/. Paperin kokonaiskulutus kylmävalssaamolla vuonna 1993 oli 3533 tonnia, josta uudelleenrullatun paperin osuus oli 668 tonnia. Jätepaperia syntyi vastaavana ajankohtana 2166 tonnia /7/.

2.2 Kuumavalssaus ja valmistelulinja

Terässulatolta toimitetaan aihiot kuumana (600-700° C) kuumavalssaamolle, jossa lämpötila nostetaan 1250° C:een askelpalkkiuunissa. Aihio valssataan ensin 25 mm:n paksuuteen etuvalssaimessa ja sen jälkeen 2,5-8 mm:n paksuuteen nauha-valssaimella. Kuumanauha on tässä vaiheessa 1000-1600 mm leveä. Rullalle kelattu kuumavalssattu nauha toimitetaan kylmävalssaamolle. Kylmävalssaamon valmistelulinjalla suoritetaan kuumanauhojen tarkastus, korjataan reunaviat ja hit-sataan tarvittaessa jatkopäät rullan alkuun ja loppuun /5/.

2.3 Hehkutus- ja peittauslinja 1

Nauha hehkutetaan sisäisen rakenteen tasaamiseksi ja peitataan pinnan puhdistamiseksi hehkutus- ja peittauslinjalla, joka koostuu useista samaan linjaan peräkkäin asennetuista yksiköistä (kuva 1). Tärkeimmät osat ovat kaksi kaasulämmitteistä uunia, kuulapuhallusyksikkö ja peittausosa. Uunissa teräsnauhan lämpötila nostetaan hehkutuslämpötilaan 1050-1100° C /5/.



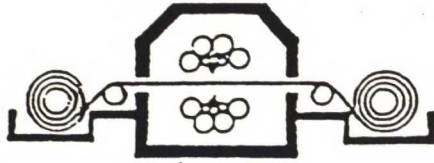
Kuva 1. Hehkutus- ja peittauslinja /6/.

Peittaus suoritetaan elektrolyttisesti neutraalissa Na_2SO_4 -liuoksessa. Sitä täydentää sekahappopeittaus ($\text{HNO}_3 + \text{HF}$), mikä varmistaa nauhan puhtauden ja antaa sille ruostumattoman teräksen värin. Samaa hehkutus- ja peittauslinjaa voidaan käyttää sekä kuuma- että kylmävalssatun nauhan käsittelyyn. Kylmävalssattuja nauhoja käsiteltäessä kelataan pintanaarmuuntumisen estämiseksi linjan lopussa välipaperi teräsnauhakelan väliin /5,6/.

2.4 Kylmävalssaus

Kylmävalssaus suoritetaan järeällä Sendzimir-monitelavalssaimella (kuva 2). Valssaimessa teräsnauha ajetaan kahden pienihalkaisijaisen telan muodostaman nipin läpi, jolloin nauhan paksuus pienenee ja pituus kasvaa. Läpiajoa kutsutaan pistoksi. Pistojen lukumäärä riippuu halutusta loppupaksuudesta /5,6/.

Valssausaste (paksuusreduktio) saattaa nousta jopa 80 %:iin. Mikäli näinkään voimakkaalla valssauksella ei saavuteta loppupaksuutta, suoritetaan välihehkutus, minkä jälkeen valssausta voidaan jatkaa /5,6/.



Kuva 2. Jaloteräksen kylmävalssain /6/.

Valssattaessa teräsnauha kuumenee voimakkaasti muokkausenergian johdosta. Muokkauslämpö poistetaan jäähdyttämällä telastoa kiertoöljyllä (n. 20 000 l/min), johon varautunut lämpö siirretään lämmönvaihtimessa veteen /6/.

Valssaimella käytetään aina viimeisellä pistolla välipaperia. Välipaperin tehtävänä on estää teräsnauhan naarmuuntuminen nauhakerrosten hangatessa toisiaan vastaan ja imeä nauhan pinnalta valssausöljyn jäänteet ennen hehkutusta. Kylmävalssaimilla voidaan käyttää joko uutta tai 1-2 kertaa uudelleenrullattua öljytöntä välipaperia. Käytetty öljyinen välipaperi voidaan joko polttaa tai toimittaa keräyskuituun erikoistuneelle tehtaalte kuidutettavaksi /6/.

2.5 Nauhanhiontalinja

Nauhanhiontalinjalla poistetaan nauhan pinnassa mahdollisesti olevat pintaviat. Linjassa on neljä päältäpäin toimivaa nauhanhiomakonetta (kuva 3). Hionnassa käytetään väliaineena öljyä. Ennen hiomista poistetaan naarmuuntumiselta suojaava kuiva välipaperi ja hionnan jälkeen rullataan välipaperi jälleen teräsnauhakelan väliin /5,6/.



Kuva 3. Nauhanhiontalinja /6/.

Linjalla tehdään myös lopputuotteita, jotka asiakas on tilannut halutulla pinnanlaadulla. Tällöin hionnassa käytetty öljy täytyy absorboida tarkasti pois /5,6/. Tähän tarkoitukseen käytetään erittäin imukykyistä ns. väli-imupaperia.

2.6 Hehkutus- ja peittauslinjat 2 ja 3

Toimintaperiaatteeltaan hehkutus- ja peittauslinjat 2 ja 3 ovat samanlaisia kuin HP-linja 1. HP-linja 2 on tarkoitettu lähinnä kylmävalssatuille nauhoille, joiden paksuus on 3 mm tai vähemmän. HP-linja 3 on tarkoitettu lähinnä kuumavalssatuille nauhoille paksuusalueella 1,5-12,5 mm /5/.

2.7 Viimeistelyvalssain

Loppumittaan valssattu, hehkutettu ja peitattu teräsnauha voidaan valssata kevyesti viimeistelyvalssaimella, joka on rakenteeltaan kaksitelavalssain (kuva 4). Käsittely parantaa nauhan sileyttä ja tasomaisuutta. Viimeistelyvalssauksessa ei teräsnauhan paksuus enää muutu merkittävästi /5/.

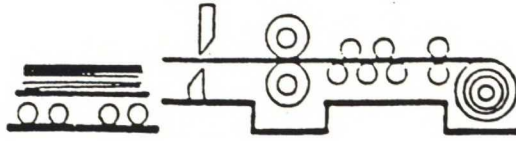


Kuva 4. Viimeistelyvalssain /6/.

2.8 Halkaisu- ja katkaisulinjat

Rullina toimitettavat leveät teräsnauhat leikataan useimmiten kapeammiksi nauhoiksi ja mahdolliset reunaviat leikataan pois. Asiakkaille lähetettävien teräsrullien väliin kelataan naarmuuntumista estävä välipaperi. Rullanmuotoisesta teräsnauhasta leikataan katkaisulinjoilla määräkokoisia levyjä (kuva 5). Katkaisulinjat on yleensä varustettu rullaoikaisukoneilla hyvän tasomaisuuden takaamiseksi. Välipaperille annetaan staattinen sähkövaraus, jotta se pysyisi levy-

jen alapinnalla. Näin paperi suojaa teräslevyn alapintaa katkaisupöydän naarmuttavaa vaikutusta vastaan. Välipaperi toimii myös suojana pinottaessa levyjä päällekkäin /5,6/.



Kuva 5. Katkaisulinja /6/.

3. VÄLIPAPERIN OMINAISUUDET JA NIIHIN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

3.1 Formaatio

Formaatiolla tarkoitetaan paperin tai kartongin neliömassan pienimittakaavaista vaihtelua paperin tasossa. Tällöin tarkoitetaan vaihtelua, jonka aallonpituus on pienempi kuin 70 mm. Formaatio on lähes kaikkien paperi- ja kartonkilajien tärkeimpiä rakennetekijöitä ja se vaikuttaa paperin muihin ominaisuuksiin, kuten paksuuden, pinnan karheuden ja huokoisuuden tasaisuuteen sekä paperin mekaanisiin ja optisiin ominaisuuksiin. Formaatio pyritäänkin saamaan paperinvalmistuksessa mahdollisimman hyväksi /8,9,10/.

Pienimittainen neliömassavaihtelu on paperille ominaista ja johtuu kuitumateriaalin taipumuksesta muodostaa verkostoja sekä rainanmuodostusprosessin stokastisesta luonteesta /8/. Suotautumisessa paikallinen neliömassa saadaan periaatteessa paikallisen sakeuden c , suihkun paksuuden h , retention η sekä suihkun ja viiran nopeuden suhteen u/u_w tulona /11/:

$$m = \eta h c u / u_w \quad (1)$$

Käytännössä em. tekijät voivat suotautumisvyöhykkeellä vaihdella voimakkaasti, mistä seuraa paikallisen neliömassan vaihtelu arkin tasossa. Suotautuneen

kuitumaton formaatioon ei voida vaikuttaa, ellei kuitumattoa osin tai kokonaan rikota ja suotauteta uudelleen. Tämän vuoksi paperin formaatio määräytyy täysin paperikoneen rainaimella /9/.

Kuitulietteen flokkisuustila suotautumishetkellä ja suotautumisolot riippuvat monista kuitulietteen ominaisuuksista /8,9/. Kuitulietteen ominaisuuksien vaikutusta kuitujen flokkaantumistaipumukseen on käsitelty taulukossa 1. Jokisen tulosten perusteella eniten flokkaantumiseen vaikuttivat voimakkuusjärjestyksessä: kuitujen pituus > deflokkauskemikaalit ja/tai kuitusulpun sakeus > sulpun virtausnopeus (taulukko 1) /12/.

Taulukko 1. Eri tekijöiden vaikutus sulfaattimassan flokkaantumiseen /12/.

Tekijä	Flokkisuusmuutos, % *
Kuitususpension sakeus	
0,5 % \rightarrow 0,6 %	+19
0,5 % \rightarrow 0,4 %	-18
Kuitususpension lämpötila	ei vaikutusta
Kuitususpension pH	
Kuitususpension virtausnopeus	
0,3 m/s \rightarrow 0,6 m/s	-14
0,3 m/s \rightarrow 0,15 m/s	+14
Kuidunpituus (valkaisuamaton mäntysulfaatti)	
2,40 mm \rightarrow 1,30 mm	-51
Kuidun hemiselluloosapitoisuus kasvaa	lievästi positiivinen?
Mänty/koivu -suhde 100 % mänty \rightarrow 100 % koivu	-35 **
Jauhatus	vaikutus selitettävissä kuidun pituuden ja taipuisuuden avulla
Retentioaineet; annostus 0,02 ... 0,025 %	alle +5 %
Deflokkauskemikaalit:	
anioninen PAM, annostus 0,5 %	-22 %
kasvilima, annostus 0,5 %	-17 %
kasvilima, annostus 1,5 %	-29 %

* mitattu valotransmission hajontana ohivirtaavan kuitusulpun läpi

** männyn keskikuidunpituus = 2,33 mm
koivun keskikuidunpituus = 1,12 mm

Kuidun pituudella on myös massalajista toiseen siirryttäessä voimakas vaikutus flokkaantumistaipumukseen ja formaatioon. Lyhytkuituisen lehtipuusellun tai mekaanisen massan käyttö pienentää flokkaantumista pitkäkuituisen havupuusell-

lun käyttöön verrattuna. Eri puulajeilla todetaan myös eroja tässä suhteessa. Esim. eukalyptussellulla on todettu saavutettavan parempi formaatio kuin koi-vusellulla /9/.

Retentiokemikaalit ja mahdolliset vedenpoistokemikaalit lisäävät etenkin suurem-
milla annostuksilla kuitujen flokkaantumista ja huonontavat formaatiota /9/.
Massasulpun flokkaantumistaipumuksen lisäksi sulpun homogeenisuuteen
suotautumisvaiheessa voidaan vaikuttaa useilla rainauslaitteiston prosessi- ja
rakennetekijöillä (kuva 6).

<u>Tekijä ja muutossuunta</u>	<u>Formaatio</u>
1. Ajo-olot	
- sakeus perälaatikossa kasvaa	- huononee
- ajonopeus kasvaa	(- paranee)
2. Rainanmuodostuslaitteisto	
- ilmatyynyperälaatikko --> hydr. perälaatikko	- paranee
- yhtäjaksoinen suotautuminen --> jaksottainen suotautuminen	- paranee
- tasonsuuntaisten voimien lisäys	- paranee
- turbulenssin lisäys (foilit, rekisteritelat, imulaatikot)	- paranee

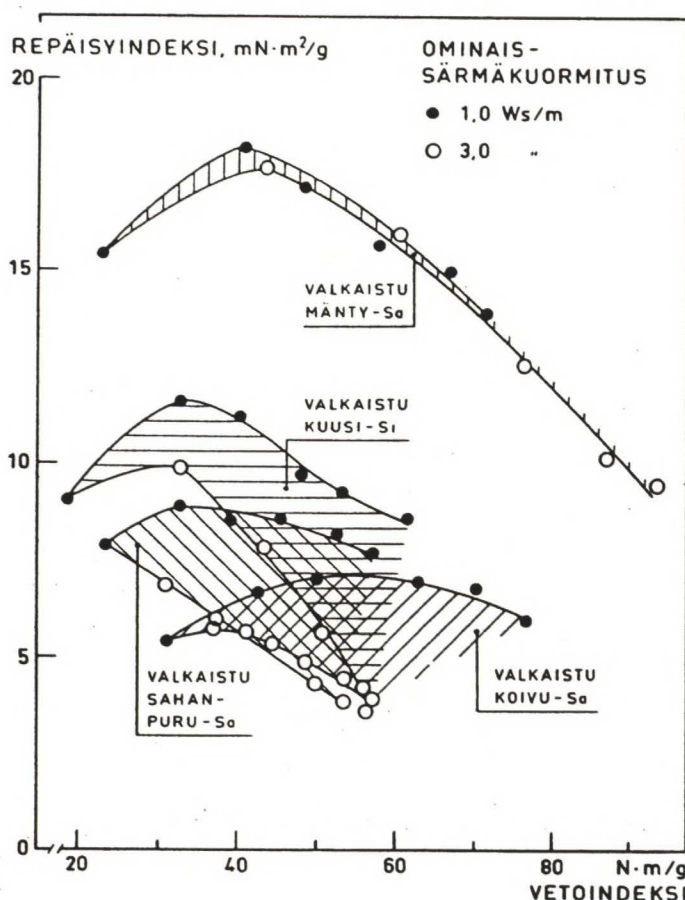
Kuva 6. Eri prosessi- ja rakennetekijöiden vaikutus formaatioon /9/.

3.2 Lujuusominaisuudet

Välipaperi joutuu jaloteräksen valmistuksessa olosuhteisiin, joissa siltä vaaditaan
hyvää fyysistä lujuutta. Tärkeitä ominaisuuksia ovat paperin vetolujuus, re-
päisylujuus ja pintalujuus /3/.

3.2.1 Veto- ja repäisylujuus

Välipaperi valmistetaan useimmiten pitkäkuituisesta sulfaattisellusta. Kuvasta 7 voidaan todeta, että havupuukuidut antavat paremmat lujuusominaisuudet kuin koivu- ja sahanpurumassa. Varsinkin repäisylujuudessa ero on selvä /13/.

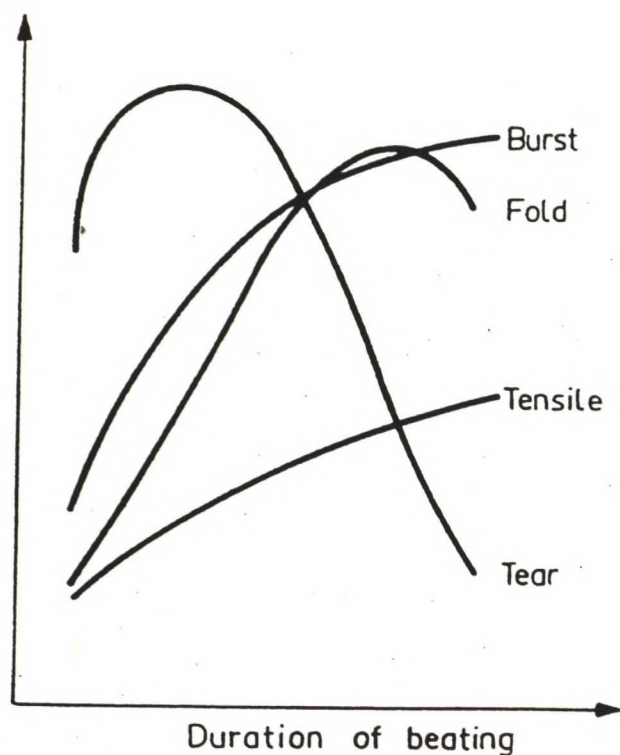


Kuva 7. Mänty-, koivu- ja sahanpurusulfaattimassan sekä kuusisulfiittimassan repäisylujuudet vetolujuuden funktiona /14/.

Kirjallisuudessa esiintyy vaihtelevaa tietoa valkaisun vaikutuksesta massan lujuusominaisuuksiin. Valkaistujen massojen lujuusominaisuudet ovat keittoprosessista sekä valkaisukemikaaleista ja -sekvensseistä riippuen joko paremmat, yhtäläiset tai huonommat kuin valkaisemattomilla massoilla /15/.

Vetolujuutta voidaan parantaa jauhatusaikaa lisäämällä, mutta tällöin täytyy ottaa huomioon repäisylujuuden heikkeneminen jauhatuksen edistyessä (kuva 8) /16/.

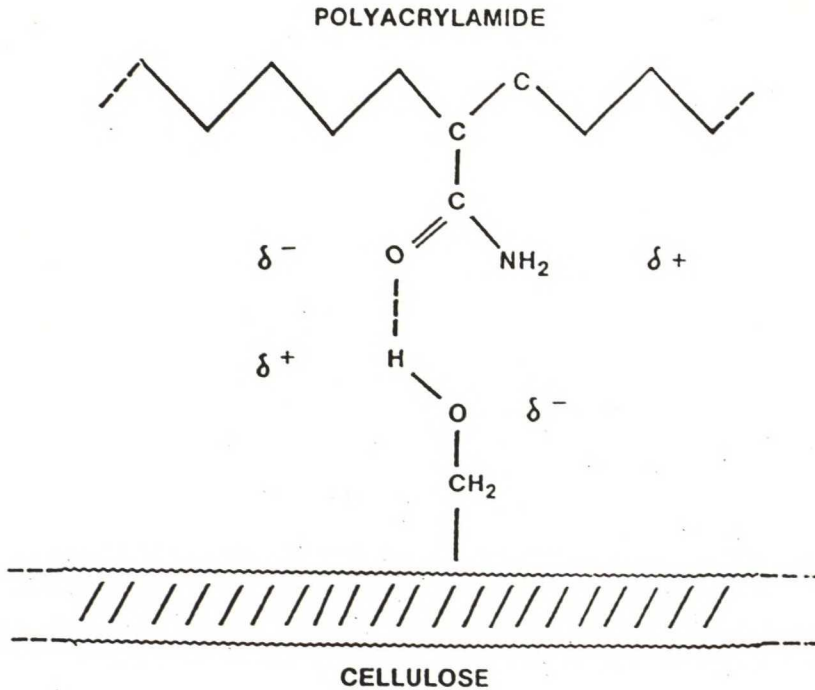
Jauhatuksen määrälle onkin etsittävä optimikohta veto- ja repäisylujuuksien suhteen. Paperin lujuusominaisuuksiin voidaan vaikuttaa myös lisäaineilla. Käytetyin kuivalujaliima on tärkkelys, mutta myös synteettiset liimat tulevat kyseeseen. Tärkkelyksen kuivalujuutta parantava vaikutus perustuu siihen, että se selluloosan tavoin pystyy muodostamaan vetysidoksia puukuitujen ja toisten tärkkelysmolekyylien kanssa. Lisäksi kuivalujuuden parantumiseen vaikuttaa se, että tärkkelys adsorboituu etupäässä hieno- ja täyteaineeseen lisäten näiden massasulpun osasten sitoutumiskykyä /17/.



Kuva 8. Jauhatusajan vaikutus lujuusominaisuuksiin /16/.

Käytännössä massasulppuun saadaan adsorboitumaan tärkkelystä n. 1 %. Tällä lisäsmäärällä vetolujuuden on havaittu parantuvan n. 15 % verrattuna tilanteeseen, jossa tärkkelystä ei käytetty. Tärkkelystä käytettäessä paperin kovuus ja tiiviys kasvavat ja repäisylujuus saattaa heiketä. Tiiviyn kasvaessa paperin bulkki ja huokoisuus pienenevät /17/. Tärkkelyksen käytöllä on havaittu olevan lisäksi ainakin seuraavia etuja paperinvalmistusprosessissa: hieno- ja täyteaineen sekä liiman retentio paranee, vedenpoisto viiraosalla paranee ja paperin jäykkyys lisääntyy /17/.

Polyakryyliamidiliimat (PAM) ovat kationisesti tai anionisesti varattuja akryyliamidi-kopolymeerejä. PAM-liimojen polaariset amidiryhmät muodostavat vetysidoksia selluloosan hydroksyyli ryhmien kanssa (kuva 9). Nämä sidokset ovat huomattavasti vahvempia kuin kahden selluloosamolekyylin väliset sidokset, jolloin paperin kuivaluususominaisuudet paranevat /18/.



Kuva 9. PAM:n ja selluloosan välinen vetysidos /18/.

Polyakryyliamidiliimoilla voidaan vaikuttaa paperin lujuusominaisuuksiin jo hyvin pienillä annoksilla. Riittävä annostus on n. 0,2-0,3 % kuidun määrästä. PAM-liimojen lisäys parantaa myös hieno- ja täyteaineretenttiä sekä erilaisten lisäaineiden retenttiä /18/.

3.2.2 Pintalujuus

Paperin pintalujuutta voidaan parantaa kuivalujaliimoilla ja pintaliimauksella. Myös jauhatuksen määrän lisääminen kasvattaa paperin pintalujuutta. Lehtipuumassojen käyttö kuituraaka-aineena heikentää pintalujuutta /19/. Paperinvalmistusprosessin kokonaisuuden kannalta pintalujuuden parantaminen kuivalujaliimalla on edullisempaa kuin jauhatuksen määrää lisäämällä /20/.

Pintaliimaus vaikuttaa useihin paperin ominaisuuksiin. Tärkkelyspintaliimaus, jossa paperiin jää n. 3-5 % tärkkelystä, muuttaa lähinnä paperin lujuusominaisuuksia sekä jonkin verran myös optisia ominaisuuksia. Paperin bulkki ja huokoisuus pienenevät, jolloin paperin öljynabsorptiokyky pienenee (taulukko 2) /21/.

Taulukko 2. Tärkkelyspintaliimauksen vaikutus hienopaperin ominaisuuksiin /21/.

Ominaisuus	Paranee	Huononee
Vetolujuus	+	
Repäisylujuus		-
Pintalujuus	+	
Puhkaisulujuus	+	
Palstautumislujuus	+	
Jäykkyys	+	
Bulkki		-
Huokoisuus		-
Hydrofobisuus		-

Koska paperin z-suuntainen lujuus riippuu lähes yksistään kuitujen välisten sidosten määrästä ja voimakkuudesta, kuivalujaliimoilla on suurin vaikutus juuri z-suuntaiseen lujuuteen. Lisättäessä tärkkelystä on Scott-Bond-sidoslujuus parantunut jopa 50 % verrattuna tilanteeseen, jolloin tärkkelystä ei käytetty /17/.

3.3 Öljynabsorptio

Välipaperilta vaaditaan hyvää ja tasaista öljynabsorptiokykyä, jotta se kykenisi poistamaan valssausöljyn jäänteet teräsnauhan pinnalta ennen hehkutusta /3,6/. Paperin sorptio-ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa kuituraaka-aineiden ja lisäaineiden valinnalla sekä useilla valmistusprosessin hallintasuureilla /22/.

Paperin sisältämien materiaalipartikkelien epämääräisistä dimensioista ja kuiturainan muodostumistavasta johtuen paperi on monimutkainen huokoinen materiaali. Materiaalin epätasaisesta jakautumisesta paperissa johtuu myös huokostilavuuden epätasainen jakauma /9/.

Paperin tiivistyessä jauhatuksen, märkäpuristuksen tai kalanteroinnin vaikutuksesta kuitujen väliset ilmatilat hupenevat ja huokostilavuus pienenee siten, että suuret huokossäteet häviävät tai pienenevät /10/. Huokosilla on hyvin suuri merkitys varsinkin nesteiden ja kaasujen virtaukselle paperissa. Paperin ilmanläpäisykyky ja nesteiden tunkeutuminen paperiin riippuvat ratkaisevasti huokoisuudesta ja huokoskoon jakautumisesta sekä huokosten suuntautumisesta arkissa /10/.

Paperin huokoisuuden ja huokoskokojakauman vaihtelut rainan tasossa korreloivat formaation tasaisuuden kanssa. Pienimittaisen neliömassavaihtelun lisääntyessä eli paperin formaation huonontuessa huokoisuusvaihtelu siis lisääntyy arkin tasossa. Mitattaessa paperin huokoisuutta esim. ilmanläpäisykyvyllä paperin keskimääräinen huokoisuus lisääntyy formaation huonontuessa paperin ohuempien kohtien voimakkaasta vaikutuksesta johtuen /9/.

Tiheysgradientin syntyminen paperin z-suunnassa aiheuttaa luonnollisesti myös huokoisuudessa vastaavanlaisen gradientin. Tämä on havaittu kokeellisesti tarkasteltaessa märkäpuristuksessa aikaansaadun z-suuntaisen tiheysjakauman vaikutuksia paperin eri puolten absorptio-ominaisuuksiin /9/.

Mikäli paperin materiaalijakauma z-suunnassa on epätasainen, on tällä (z-suuntaisesta tiivistymisestä riippumaton) vaikutuksensa rainan huokosrakenteen z-suuntaisiin eroihin /9/.

Paperin suuri imukyky saadaan aikaiseksi lähes olemattomalla jauhatuksella ja sellaisilla paperinvalmistusoloilla, joissa puukuidun omat hartsit eivät muodostu hydrofobisiksi yhdisteiksi. Myös kuituraaka-aineella voidaan vaikuttaa imukykyyn.

Sahanpuru- ja lehtipuumassoilla on paremmat absorptio-ominaisuudet kuin pitkäkuituisella havupuumassalla. Esim. imukykyisiä rakennuspapereita valmistettaessa pohjapaperi voidaan tehdä yksinomaan sahanpurumassasta /22,23/.

Välipaperia valmistettaessa joudutaan kompromissiratkaisuihin. Välipaperilta vaadittavat hyvät lujuusominaisuudet asettavat rajoituksia kuituraaka-aineen valinnalle. Samoin jauhatus tulee viedä tietylle asteelle lujuusominaisuuksien saavuttamiseksi. Pitkäkuituisen massan käyttö huonontaa myös paperin formaatiota ja samalla paperin huokoisuusvaihtelu tason suunnassa lisääntyy.

Teräksen valmistuksessa käytettävät välipaperit ovat yleensä konekalanteroituja. Kalanterointi pienentää paperin huokostilavuutta ja paperin pinnan sorptio-ominaisuudet vaihtelevat kohdasta toiseen siirryttäessä. Näin ollen öljynabsorption tasaisuus heikkenee.

3.4 Mekaaninen puhtaus

Välipaperilta vaaditaan ehdotonta mekaanista puhtautta. Mekaaniset epäpuhtaudet paperissa saattavat vaurioittaa terästä, jolloin teräsnauha joudutaan hiomaan /6/. Paperin epäpuhtaudet voivat olla peräisin raaka-aineesta tai massan eri käsittelyvaiheista paperitehtaalla /24,25/.

Raaka-aineen epäpuhtauksia ovat mm. tikut, oksat ja kuoret, joiden erottaminen massasta sellutehtaalla on hankalampaa kuin myöhemmin prosessiin joutuneiden epäpuhtauksien. Lopputuotteen epäpuhtaudet ovat yleensä peräisin raaka-aineesta /24,25/.

Eri käsittelyvaiheista peräisin olevia epäpuhtauksia ovat mm. hiekka, kivet, metalli, betonipalaset, muovi ja muut vieraat esineet. Riittävän suurina osasina esiintyessään ne ovat kuitenkin helposti erotettavissa. Pääosa epäpuhtauksista koostuu usein merkittävästi suuremmista osasista kuin itse kuidut ovat /24,25/.

Paperikoneen lyhyeen kiertoon sijoitetun puhdistusjärjestelmän tarkoituksena on mainittujen haittavaikutusten eliminoiminen. Järjestelmä käsittää yleisesti useampivaiheisen pyörrepuhdistuslaitoksen, ilmanpoistolaitteiston sekä yhden tai useampia sihtejä /25/.

Pyörrepuhdistuksen ensisijaisena tarkoituksena on poistaa kuituainesta tiheämpiä epäpuhtauksia. Sihtien pääasiallisena tehtävänä on kokoeroihin perustuen puhdistaa massaa kuituja suuremmista epäpuhtauksista (tikut, kuitukimput jne.). Lisäksi sihti hajottaa kuitukasautumia ja flokkeja edistäen kuitujen tasaista jakautumista massasulpuissa /25/.

3.5 Kemiallinen puhtaus ja pH

Kemiallisilla epäpuhtauksilla tarkoitetaan välipaperin tapauksessa lähinnä sulfaattia ja klooria, jotka saattavat aiheuttaa kemiallisia reaktioita (korroosiota) teräksen pinnalla. Lisäksi eräät teräksenvalmistajat asettavat rajoituksia myös paperin Fe-pitoisuudelle /26/. Koska välipaperi valmistetaan yleensä valkaisemattomasta sellusta, kloori on peräisin puuraaka-aineesta ja mahdollisesti raakavedestä. Sulfaattipitoisuuteen voidaan vaikuttaa tehostamalla massan pesua sellutehtaalla. Kaiken kaikkiaan välipaperin kuituraaka-aineilta vaaditaan siis ehdotonta kemiallista puhtautta.

Kemiallisen puhtauden lisäksi on kiinnitettävä huomiota välipaperin pH-arvoon. Sen tulisi olla mahdollisimman lähellä neutraalia, jotta paperi ei aiheuttaisi korroosiota. pH-arvoa tarkkaillaan määrittämällä paperista vesiuutteen pH. Paperin pH:ta voidaan hallita pitämällä paperikoneella kiertoveden pH sopivalla tasolla. Kiertoveden pH:ta säädetään alunan ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) ja lipeän (NaOH) avulla.

3.6 Paksuusprofiili

Välipaperilta vaaditaan tasaista paksuusprofiilia /3/. Näin ollen teräksen valmistuksessa käytettävä välipaperi on yleensä konekalanteroitua. Konekalanteroinnilla

voidaan säätää paperin paksuus ja tiheys halutun suuruisiksi. Tähän liittyy myös rainan paksuuden tasaaminen poikkisuunnassa, niin että rainasta voidaan rullata tasaisia rullia /27/. Välipaperin valmistuksessa pyritään lisäksi kovanippisellä kalanterilla murskaamaan paperissa mahdollisesti esiintyviä mekaanisia epäpuhtauksia.

4. VÄLIPAPERIN TARTTUMISEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

4.1 Taustaa

Välipaperin käytössä jaloteräksen valmistuksessa esiintyy ongelmia, jotka johtuvat joko paperin ominaisuuksista, prosessiolosuhteista tai näiden yhteisvaikutuksesta. Tyypillisiä ongelmia ovat paperin epäpuhtauksien aiheuttamat viat teräksessä, paperin tarttuminen teräslevyn pintaan kylmävalssauksessa ja paperin irtoaminen teräslevystä katkaisulinjalla. Lisäksi epätasainen öljynabsorptio kylmävalssauksen jälkeen aiheuttaa hehkutuksessa läikkiä teräksen pintaan. Seuraavassa käsitellään kylmävalssaimella esiintyvää paperin tarttumisongelmaa.

Välipaperi tarttuu toisinaan lujasti kiinni teräsnauhaan, eikä irtoa teräsrullaa aukikelattaessa hehkutus- ja peittauslinjan alkupäässä. Tällöin paperi repeää ja kiinnitarttuneilla alueilla paperi kulkeutuu teräsnauhan pinnalla hehkutusuuniin, jossa paperi palaa ja turmelee teräsnauhan pinnan. Tuote joudutaan hiomaan tai sen laatuluokitus laskee. Tarttumisen todennäköisyyttä voidaan pienentää valssausteknisin keinoin, kuten valssausnopeutta pienentämällä. Tällöin kuitenkin kylmävalssaimien tuotantokapasiteetti pienenee. Tarttumispotentiaalin pienentäminen paperin tilasuureita muuttamalla mahdollistaisi tuotantokapasiteetin kasvun ja vähentäisi kylmävalssaimilla syntyviä paperista johtuvia pintavirheitä.

Kuiturainan tarttumiseen metallipintaan vaikuttavat kuiduissa oleva kosteus, kuitukomponentit ja kuiturainan sisältämät lisäaineet. Lisäksi vaikuttavia tekijöitä ovat paperin pintaominaisuudet sekä puristusaine, lämpötila ja metallipinnan ominaisuudet. Tartunnan mekanismia ei täysin tunneta, mutta suoritetuissa analyyseissa

on todettu tartuntakerroksen muodostuvan pääasiassa kuitufragmenteista, jotka puristuksen ja lämmön vaikutuksesta ovat muodostaneet metallipintaan yhtenäisen kerroksen /28,29/.

4.2 Paperin ja metallipinnan väliset sidokset

Metallipinnan ja polymeeriaggregaatin (tässä tapauksessa paperi) väliset sidokset voivat olla luonteeltaan joko kemiallisia tai fysikaalisia. Kemialliset sidokset ovat tällöin tavallisimmin kovalentteja. Kovalentti sidos saattaa syntyä paperin jonkin ainesosan ja metallipinnan tai metallipinnan oksidin kanssa. Fysikaaliset sidokset taas ovat ennen kaikkea pintajännitysvoimia, van der Waalsin voimia, vetysidoksia ja sähköisten kaksoiskerrosten muodostamia sidoksia /28/.

Paperin tarttumista metallipintaan on tutkittu lähinnä pehmopaperin kuivakreppausprosessin kannalta. Tutkimuksissa on todettu, että kuitu tai kuitufragmentti voi tarttua jenkkisylinterin pintaan niin lujasti, että kuidun tai kuitufragmentin ja pinnan välinen adheesiovoima voittaa kuidun tai rainan koheesiovoiman /29/.

Jenkkisylinterin pinta on yleensä valurautainen. Sylinterin päällystäminen ruostumattomalla teräksellä ei ole olennaisesti vaikuttanut rainan ja sylinteripinnan väliseen adheesioon pehmopaperin kuivakreppausprosessissa /30/.

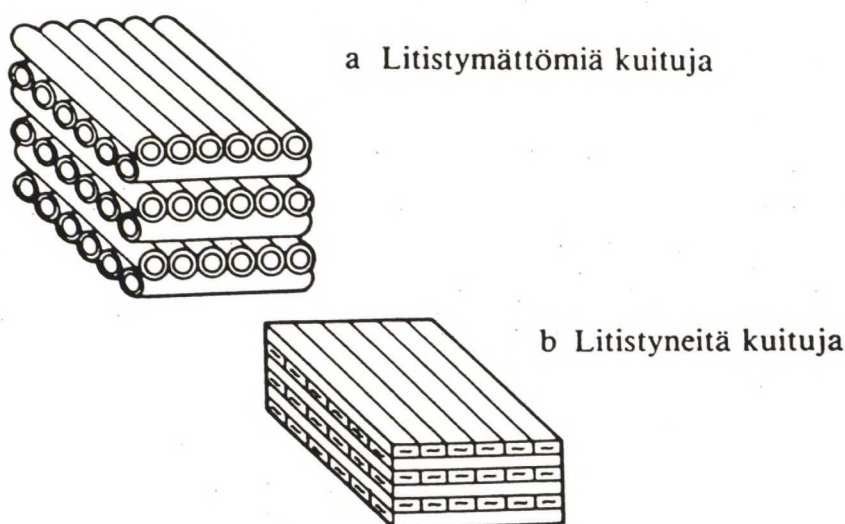
4.3 Kuituraaka-aine

4.3.1 Kuitujen morfologia

Oleellisena tekijänä kuituverkoston tarttumiselle voidaan pitää paperin ja metallipinnan välille syntyvää kontaktipinta-alaa /28/. Kuitujen morfologisista tekijöistä vaikuttavat kontaktipinta-alaan mm. kuitujen pituusmassa ja massan kuitupituusjakauma. Kuidun pituusmassalla tarkoitetaan kuitujen keskimääräistä massaa pituusyksikköä kohti /31/.

Kuidun pituusmassa riippuu puulajista ja puulajin kevät- ja kesäpuun välisistä osuuksista. Massanvalmistusprosessissa kuidun pituusmassa pienenee lineaarisesti saannon funktiona. Kuituseinämän litistymistäipumusta voidaan huomattavasti lisätä jauhatuksella /31,32/.

Kuidut, joilla on suuri suhteellinen seinämänpaksuus, säilyttävät putkimaisen rakenteensa paremmin kuin ohutseinäiset kuidut. Kuvassa 10 on kaaviollisesti esitetty putki- ja nauhatyyppisten kuitujen käyttäytyminen paperinvalmistusprosessissa /28,32/.



Kuva 10. Putki- ja nauhatyyppisen kuidun käyttäytyminen paperinvalmistusprosessissa /32/.

Tyypillisiä putkikuituja ovat havupuiden kesäpuusolujen lisäksi useimpien lehtipuiden suippusolut. Havupuiden kevätpuusolut puolestaan edustavat lähinnä nauhatyyppiä. Ne ovat joustavia ja sitoutumiskykyisiä /28,32/. Kuvasta 10 voidaan havaita, että nauhamaisen kuiturakenteen omaava verkosto mukautuu paremmin kiinteää alustaa vasten, jolloin kontaktipinta-ala kasvaa.

Massan kuitupituusjakauma vaikuttaa siten, että lyhytkuituinen tai runsaasti hienoainetta sisältävä massa muodostaa paperille tasaisemman pinnan. Tällöin paperin ja metallipinnan välinen kontaktipinta-ala kasvaa /28/.

4.3.2 Kuitukomponenttien termoplastiset ominaisuudet

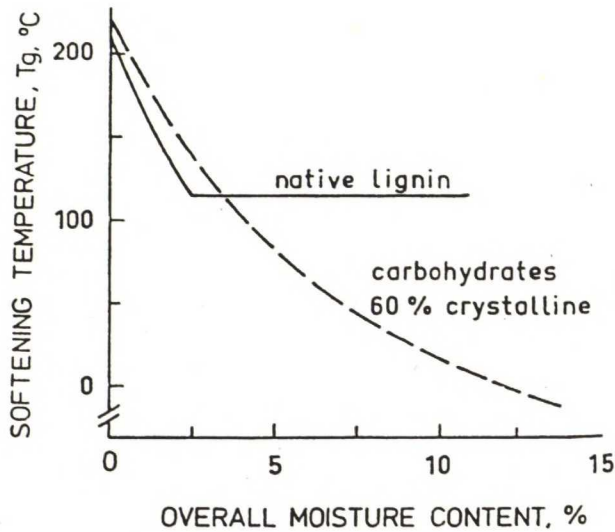
Pehmenemislämpötila on lämpötila, jossa amorfisen polymeerin kova lasimainen rakenne muuttuu kumimaisen plastiseksi tai viskoottiseksi. Pehmenemislämpötilassa polymeerin vapaa tilavuus kasvaa ja vetysidoksia purkautuu, jolloin polymeeriketjun ja sen osasten liike kasvaa ja polymeerin rakenne höltyy /33/.

Ligniini ja hemiselluloosat ovat amorfisia polymeereja ja siten termoplastisia. Selluloosan rakenne sen sijaan on osittain kiteinen. Kiteisten osien välissä on järjestäytymättömiä alueita, jotka voidaan olettaa amorfisiksi /34,35/. Kuivan selluloosan pehmenemislämpötila vaihtelee selluloosan rakenteesta, mittausmenetelmästä ja pehmenemislämpötilan määrittelystä riippuen välillä 200-250° C. Kiteinen selluloosa ei pehmene, vaan sulaa lämpötilassa 450° C /35,36/.

Hemiselluloosien ja ligniinin pehmenemislämpötilat korreloivat niihin lämpötiloihin, joissa näiden aineiden tartuntaominaisuudet lisääntyvät /28/. Hemiselluloosien pehmenemislämpötilat vaihtelevat välillä 150-220° C. Suuri vaihtelu johtuu hemiselluloosien kemiallisen rakenteen eroista /35/.

Puusta uutettu ligniini eroaa monin tavoin puussa olevasta luonnon ligniinistä. Tämän vuoksi myös kirjallisuudessa ilmoitetut ligniinin pehmenemislämpötilat vaihtelevat 124° C:sta 193° C:een. Mitä suurempi ligniinin molekyylipaino on, sitä korkeampi on pehmenemislämpötila /34,35/. Kuitukomponenttien pehmenemislämpötilat alenevat huomattavasti, kun niiden kosteuspitoisuus kasvaa. Tämä perustuu siihen, että veden lasittumislämpötila on alhaisempi kuin kuidun polymeerien. Kosteus absorboituu kuitujen amorfiseen osaan /33/.

Kuvassa 11 on esitetty paperin kuitukomponenttien pehmenemislämpötilat kosteuspitoisuuden funktiona, kun hiilihydraateista 60 % on kiteistä /36/. Amorfisen selluloosan ja hemiselluloosien pehmenemislämpötilat kosteuspitoisuuden funktiona ovat hyvin lähellä toisiaan, joten hiilihydraatteja voidaan kuvata yhtenäisenä kokonaisuutena /35,36/.

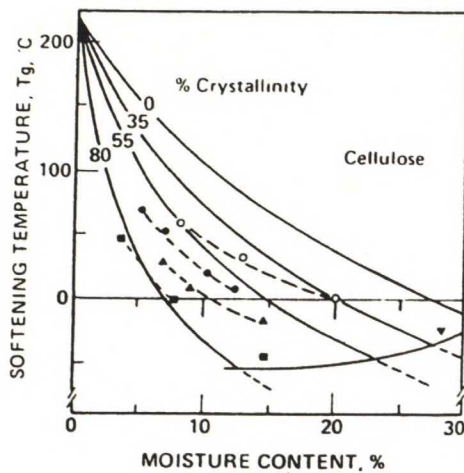


Kuva 11. Paperin kuitukomponenttien pehmenemislämpötilat kosteuspitoisuuden funktiona /36/.

Vesi pystyy avaamaan ligniinin rakennetta hyvin rajoitetusti. Pieni määrä kosteutta alentaa kuitenkin ligniinin pehmenemislämpötilaa huomattavasti. Natiivin ligniinin pehmenemislämpötila on 115° C paperin kosteuspitoisuuden ollessa yli 2,5 %. Sulfonoidun tai modifioidun ligniinin pehmenemislämpötila on n. 20-30° C alempi kuin natiivilla ligniinillä /36/.

Pehmenemislämpötilaan vaikuttavat lisäksi kuidun kiteisen ja amorfisen materiaalin osuudet. Kuvassa 12 on esitetty kosteuden vaikutus eri kiteisyysasteen omaavan selluloosan pehmenemislämpötilaan /35/. Pehmenemislämpötilat on laskettu Kaelblen kaavojen mukaan. Yksittäiset pisteet ovat muiden tutkimusten tuloksia.

Kuvasta nähdään, että suuremman kiteisyyden omaava massa saavuttaa pehmenemispisteen alhaisemmassa lämpötilassa. Laskuperustana on käytetty kuitujen kaikkien polymeerien kokonaispainoa. Näin ollen suuremman kiteisyysasteen sisältävien massojen amorfisen osa on suhteellisesti kosteampi kuin enemmän amorfista materiaalia sisältävien /35/.



Kuva 12. Kosteuspitoisuuden vaikutus pehmenemislämpötilaan selluloosan eri kiteisyysasteilla laskettuna Kaelblen kaavojen mukaan /35/.

Kun paperia puristetaan metallin pintaan lämpötilan ollessa yli 100° C saavutetaan otolliset olosuhteet kuiduissa olevien hiilihydraattien ja ligniinien pehmenemiselle. Pehmenemisen seurauksena kuitukomponenttien voidaan olettaa toimivan kontaktiliiman tavoin.

Ligniini- ja hemiselluloosapitoisuuden lisäksi on merkittävää näiden komponenttien jakauma kuidun eri osien välillä. Mikäli esim. suurin osa ligniinistä sijaitsee kuidun pinnalla, ligniinipitoisuuden merkitys tarttumista ajatellen kasvaa.

4.3.3 Puulaji ja massanvalmistusmenetelmä

Erilaisten massojen välillä esiintyy eroja tarttuvuuden suhteen. Viilon /28/ suorittamissa kokeissa asettuivat käytetyt massat tarttuvuudeltaan metallipintaan seuraavaan järjestykseen voimakkaimmin tarttuvasta heikoimpaan: hioke > valkaistu mäntysulfaatti > valkaistu kuusisulfiitti > puuvilla > valkaisematon kuusisulfiitti > valkaistu koivusulfaatti. Keskuslaboratoriossa suoritetuissa mittauksissa päädyttiin samansuuntaisiin tuloksiin (taulukko 3) /37/. Tartunnan voimakkuutta on mitattu irrotustyön avulla. Kohta "arvioitu tartunta" on yhteenveto kokemuksista käytännön olosuhteissa (kuivakreppausprosessi).

Taulukko 3.

Erialaisten massojen tartunta jenkkisylinterin pintaan /37/.

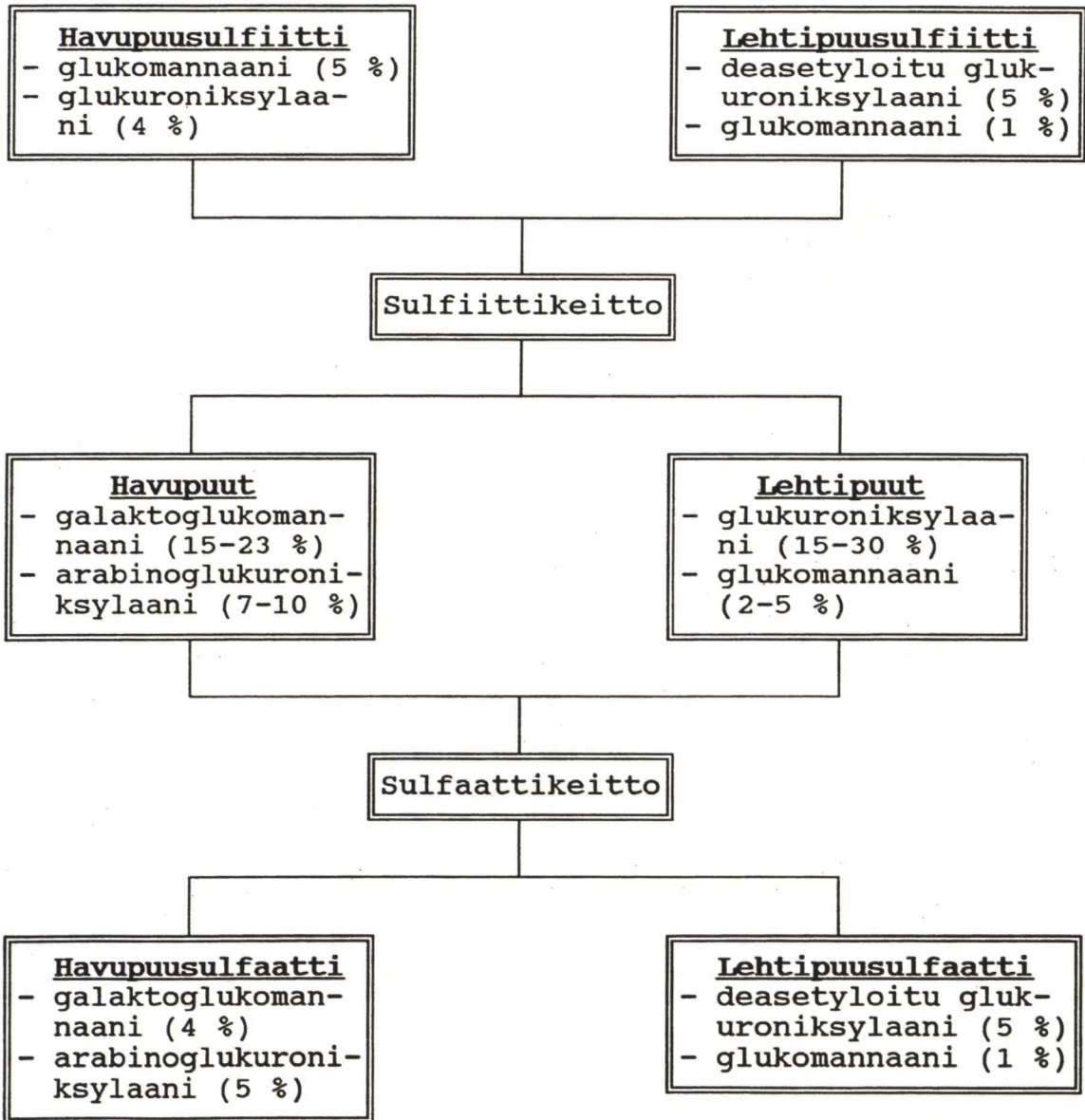
Massa	Irrotustyö J/m ²	"Arvioitu tartunta"
Valkaisematon mäntysulfaatti	17,5	17,5
Valkaistu mäntysulfaatti	16,5	12,2
Valkaisematon kuusisulfiitti	12,5	9,8
Valkaistu kuusisulfiitti	11,0	5,5
Hioke	10,0	9,8
Kuumahierre (TMP)	6,5	-
Valkaistu koivusulfaatti	4,5	4,5
Alfa-selluloosa	3,5	-

Nordmanin et al. /38/ mukaan valkaisuomattomien massojen adheesio metallipintaan on voimakkaampi kuin vastaavien valkaistujen massojen. Fuxeliuksen /29/ mukaan voimakkaaimmin tarttuvat puolikemialliset lehtipuumassat ja korkeasaantoiset sulfiittimassat, kun taas sulfaattimassat ja alhaiseen saantoon keitetty sulfiittimassat tarttuvat heikommin.

Puolikemiallisten lehtipuumassojen ja korkeasaantoisten sulfiittimassojen tarttumispotentiaalia on selitetty korkealla hemiselluloosapitoisuudella. Kyseisillä massoilla hemiselluloosapitoisuus on suuri varsinkin kuitujen pinnalla. Lisäksi voimakkaasti tarttuvien massojen uronihappopitoisuuden on todettu olevan korkeampi kuin heikommin tarttuvilla massoilla /29/.

Tutkimuksessa, jossa selvitettiin kuivakreppausprosessin tartuntakerroksen syntymekanismeja, ainoastaan mäntysulfaattimassasta valmistetuilla arkeilla onnistuttiin aikaansaamaan tartuntakerros ruostumattoman teräslevyn pintaan /28/. Koivusulfaatista ja kuusisulfiitista valmistetuilla arkeilla ei aikaansaatukaan tartuntaa ruostumattoman teräksen pintaan. Käytännössä ja tutkimuksissa havaittu mäntysulfaattimassan voimakas tarttuminen saattaa johtua hemiselluloosakoos-

tumuksissa ja -pitoisuuksissa esiintyvistä eroista /39/. Mäntysulfaattimassojen hemiselluloosat sisältävät galaktoosi- ja arabinoosiryhmiä, joita ei esiinny sulfiittiselluissa eikä koivusulfaattimassassa (kuva 13) /40,41/.



Kuva 13. Havu- ja lehtipuiden hemiselluloosien muutokset sulfiitti- ja sulfaattikeitoissa /40,41/.

Valkaisussa hemiselluloosapitoisuuksissa ei tapahdu merkittäviä muutoksia, jos vältetään voimakkaan alkalisia olosuhteita. Sulfaattikeitossa vallitsevista erittäin alkalisisista olosuhteista johtuen on epätodennäköistä, että valkaisussa massan

hemiselluloosakoostumus muuttuisi oleellisesti /15/. Näin ollen merkittävin ero valkaisemattomien ja valkaistujen massojen välillä on ligniinipitoisuudessa. Valkaisemattomien havupuumassojen ligniinipitoisuus on kappaluvusta riippuen n. 2-5 %. Valkaistut massat taas eivät käytännöllisesti katsoen sisällä ligniiniä.

Jenkkisylinterin pintaan syntyneistä tartuntakerroksista tehdyt analyysit osoittavat kerroksen koostuvan pääasiassa hemiselluloosista, selluloosasta, ligniinistä ja uuteaineista. Minkään massakomponentin huomattavaa rikastumista kerrokseen ei ole havaittu /29,30/. Tartuntakerros koostuu siis pääasiassa kuituframenteista, jotka ovat korkean lämpötilan ja paineen vaikutuksesta muodostaneet ohuen kalvon jenkkisylinterin pintaan /29/.

4.4 Kemikaalit

Kuiturainan tarttuvuutta metallipintaan voidaan lisätä paperinvalmistuksessa yleisesti käytettävillä lisäaineilla. Toisaalta liian voimakkaasti tarttuvien massojen yhteydessä käytetään erilaisia irrokeaineita tarttumisen hallitsemiseksi /30,42,43/.

4.4.1 Paperin lisäaineet

Paperin lisäaineista mm. tärkkelys, hydrofobiliimat, märkälujaliimat, retentioaineet ja polyakryyliamidiliimat voivat toimia tarttuvuutta lisäävinä aineina /30,42/. Polyakryyliamideilla saavutetaan voimakkain adheesio /43/.

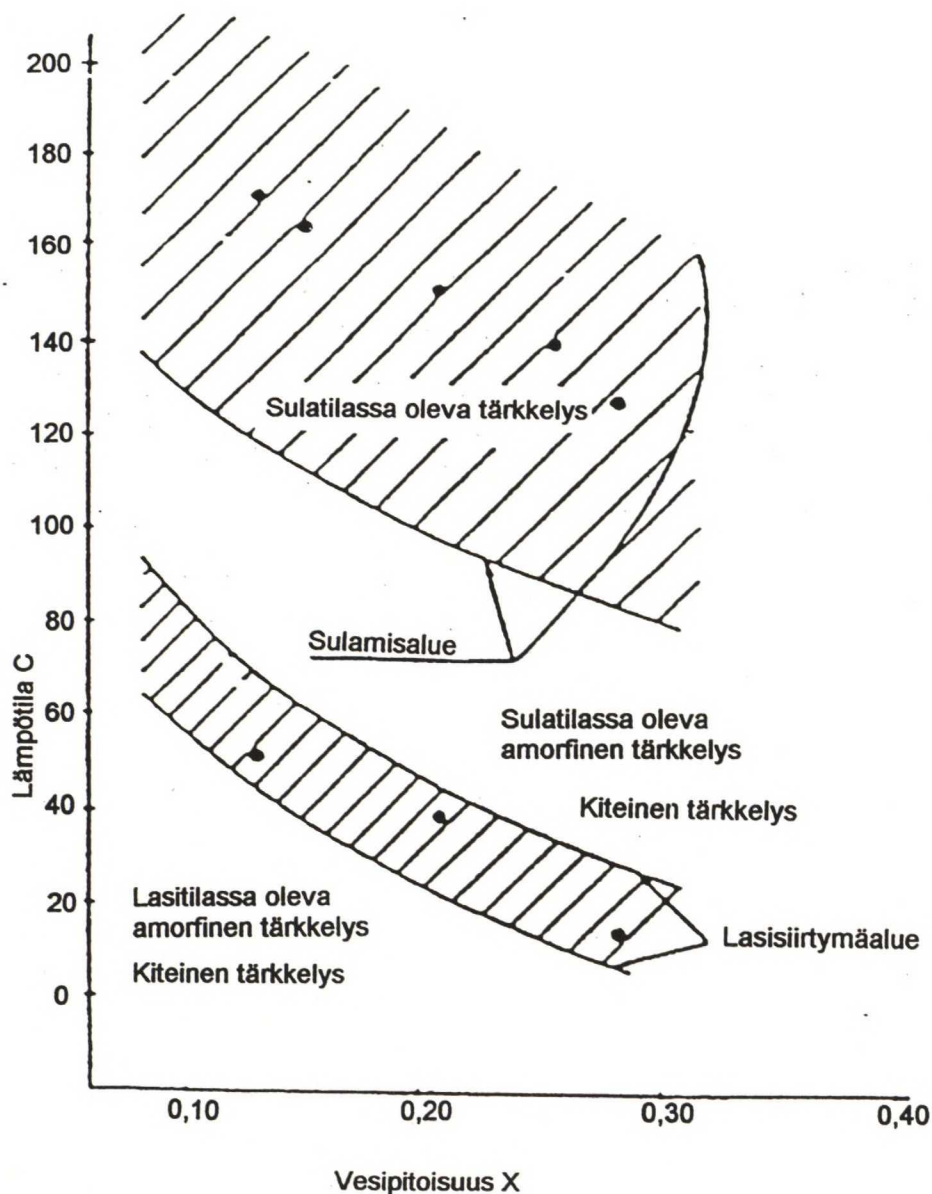
Tärkkelys

Tärkkelystä käytetään kuivalujaliimana, pintaliimana ja päällystyspастоjen sideaineena. Tärkkelysmolekyyli on α -D-glukopyranoosiyksiköiden muodostama polymeeri, jossa esiintyy kahta eri komponenttia: amyloosia ja amylopektiiniä /17,44/.

Massatärkkelyksiä käytetään kuivalujaliimaukseen. Kationiset tärkkelykset sisältävät kvaternaarisia tai tertiäärisiä ammoniumryhmiä, jotka ovat kiinnittyneet

eetterisidoksilla tärkkelykseen. Amfoteerinen tärkkelys taas sisältää sekä positiivisesti että negatiivisesti varautuneita ioneita /17,44/.

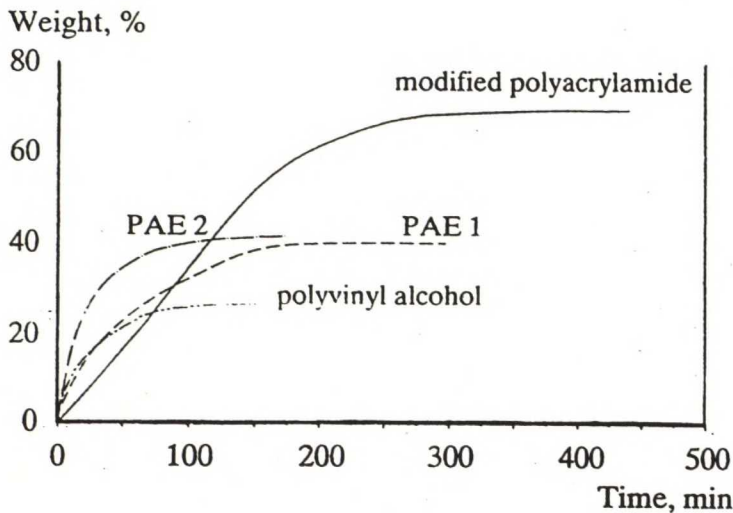
Kuvassa 14 on esitetty tärkkelyksen faasimuutoslämpötilat kosteuspitoisuuden funktiona /45/. Kuvasta havaitaan, että tärkkelyksen amorfisen osan pehmenemislämpötila on 20-80 °C vesipitoisuuden ollessa 10-30 % ja kiteisen faasin sulamislämpötila on 80-140 °C vesipitoisuuden ollessa 10-30 %.



Kuva 14. Tärkkelyksen faasimuutoslämpötilat vesipitoisuuden funktiona /45/.

Polyakryyliamidiliimat

Polyakryyliamidiliimoja ($[-CH_2-CH_2-CO-NH_2-]_n$) voidaan käyttää paperin kuivaluoliimauksen lisäksi tartuntaa lisäävänä kemikaalina pehmopaperin kuiva-
kreppauksessa. Vedettömän polyakryyliamidin pehmenemislämpötila on n. 165 °C /42/. Koska polyakryyliamidi on erittäin hydrofiilinen aine, sen pehmenemislämpötila on veden plastisoivan vaikutuksen ansiosta käytännössä luultavasti huomattavasti alhaisempi (kuva 15).



Kuva 15. Eräiden tartuntakemikaalien kosteusadsorptio ajan funktiona. ($T = 23,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 93 % RH) /42/.

Hydrofobiliimat

Hydrofobiliimojen tarkoituksena on rajoittaa paperin luontaista imukykyä. Havupuiden pihkasta eristetty hartsi on tärkein hydrofobiliimojen raaka-aine. Hartsi on amorfista materiaalia, joka pehmenee 65-90° C:ssa. Kemiallisesti hartsi sisältää 80-90 % abietiini- ja pimaarihappoja /44/.

Retentioaineet

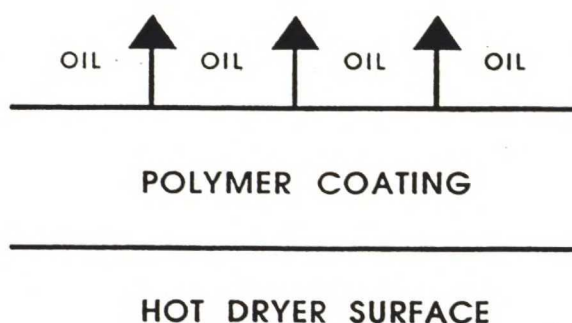
Retentioaineina käytetään usein synteettisiä orgaanisia polymeereja. Tarkoitukseen soveltuvia aineita ovat mm. polyakryyliamidit, polyetyleni-imiini, polyamiinit

ja polyetyleenioksidi /44/. Polyamiinien pehmenemislämpötila on noin $-18 - +20$ °C ja polyetyleenioksidin -67 °C /42/. Useimmat retentioaineet toimivat siis paperin ja metallin välistä tartuntaa lisäävinä aineina /43/.

4.4.2 Irrokeaineet

Kuiturainan ja metallipinnan välistä adheesiota voidaan hallita ns. irrokeaineilla. Irrokeaineina käytetään yleisesti hiilivetypohjaisia aineita kuten mineraaliöljyemulsioita, polyetyleeniglykoleita ja erilaisia pinta-aktiivisia aineita /30,43/. Eräät paperinvalmistuksessa käytettävät aineet, kuten vaahdonestoaineet ja pehmopaperin valmistuksessa käytettävät pehmennysaineet, saattavat edesauttaa paperin irtaamista jenkkisylinterin pinnasta /43/.

Kuivakreppausprosessissa käytettävien hiilivetypohjaisten irrokeaineiden vaikutus perustuu niiden taipumukseen siirtyä pois kuuman jenkkisylinterin pinnasta. Näin ollen irrokeaine asettuu tartuntakerroksen ja kuiturainan väliin estäen liian voimakkaan adheesion (kuva 16) /47/.



Kuva 16. Irrokeaineiden toimintamekanismi /47/.

Massanvalmistuksessa tai paperikoneella pihkaongelmien ehkäisyyn käytettävän talkin on myös havaittu vähentävän paperin ja jenkkisylinterin välistä adheesiota. Talkki saattaa kuitenkin reagoida märkälujahartsien kanssa muodostaen sakkoja, jotka voivat tukkia mm. pick-up huovan. /47/.

4.4.3 Valssausöljy

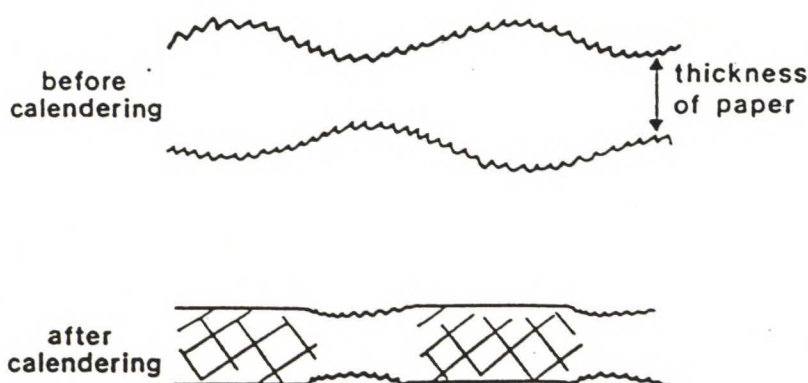
Jaloteräksen kylmävalssauksessa käytettävä valssausöljy on peruskoostumukseltaan parafiinisen (n. 70 %) ja nafteenisen (n. 30 %) mineraaliöljyn seos. Lisäksi öljy sisältää lisäaineita, joiden pitoisuuksista ei ole tarkkaa tietoa. Lisäaineita ovat mm. rikki, fosfori, kloori, alkoholit, esterit, aromaattiset hiilivedyt ja antioksidantit.

Valssausöljy voi siis koostumuksensa perusteella toimia irrokeaineena, mutta valssauksessa öljy imeytyy kokonaan välipaperiin. Tällöin paperin ja teräspinnan väliin ei jää irrotusvaikutuksen aiheuttavaa öljykalvoa.

4.5 Paperin rakenne

4.5.1 Formaatio

Formaation merkitys on siinä, että se vaikuttaa paperin muihin ominaisuuksiin. Välipaperin tärkeimpiä ominaisuuksia ovat huokoisuus ja mukautuvuus puristuksen alaisena. Paperin kalanteroinnissa näihin ominaisuuksiin saattaa syntyä formaatiosta riippuvaa vaihtelua /8/. Kuva 17 esittää kalanteroinnin vaikutusta paperiin. Varsinkin kovanippistä kalanteria käytettäessä korkeaneliömassaiset alueet kalanteroituvat voimakkaammin kuin matalaneliömassaiset. Näin ollen paperin tiheyteen ja pinnan karheuteen syntyy paikallisia vaihteluita /8/.



Kuva 17. Kaavamainen esitys kalanteroinnin vaikutuksesta paperiin /8/.

Tällöin paperin absorptio-ominaisuudet muodostuvat epätasaisiksi. Lisäksi paperin tiheämpiin kohtiin kohdistuu teräsrullan sisään kelattaessa korkeampi pintapaine, joka lisää tarttumisen todennäköisyyttä. Tarttumiskohtia tarkasteltaessa onkin havaittu tartunnan olevan epätasaista, esiintyen "flockimaisena" ja jossain määrin jopa vanamaisena ilmiönä.

4.5.2 Pintaominaisuudet

Paperin pintaominaisuudet vaikuttavat öljynabsorption tasaisuuden lisäksi myös tarttuvuuteen. Paperin sileyys vaikuttaa metallipinnan kanssa muodostuvan kontaktialan suuruuteen. Mitä sileämpi paperi, sitä parempi kontakti muodostuu paperin ja metallipinnan välille.

Suoritetuissa tutkimuksissa on havaittu arkin sileyden korreloivan irrotustyön kanssa. Poikkeuksen muodosti kuitenkin mäntysulfaattimassa, joka muodosti pienen kontaktialan pinnan kanssa, mutta tarttui kuitenkin voimakkaasti /28/. Myös kylmävalssauksessa välipaperi tarttuu useimmiten sileämmältä puolelta (paperin MG-puoli). Pahimmissa tapauksissa paperi on tarttunut molemmilta puolilta teräsnauhan pintaan.

4.6 Olosuhteet kylmävalssauksessa

4.6.1 Puristuspaine

Voimakas puristuspaine aikaansaa hyvän kontaktin paperin ja metallipinnan välille ja luo edellytykset sidosvoimien syntymiselle. Puristuksen lisäys ei oletettavasti lisää yksityisten sidosten lujuutta, vaan ainoastaan helpottaa sidosten syntymistä. Puristuspainetta lisättäessä on havaittu paperin tartunnan jenkkisylinterin pintaan voimistuvan /28/. Kylmävalssauksessa puristuspaine muodostuu usean eri tekijän yhteisvaikutuksesta. Valssattaessa käytetään aina syöttö- ja jättökiristystä, joka säädetään teräsnauhan poikkipinta-alan mukaan. Maksimiveto kelaimilla on 60 tonnia, joka saavutetaan n. 2 mm:n nauhapaksuuksilla. Paperiin kohdistuva pinta-

paine riippuu teräsrullan halkaisijasta; vedon ollessa vakio paperiin kohdistuva pintapaine pienenee halkaisijan kasvaessa. Tarttumisen onkin todettu keskittyvän teräsrullan sisäkerroksille, joissa pintapaine on suurin.

Tarttuminen on voimakkainta leveyssuunnassa teräsnauhan keskialueella. Tämä johtuu nauhan poikkileikkausprofiilista, joka on lievästi linssimäinen. Paksuusero teräsnauhan reunojen ja keskipisteen välillä on keskimäärin 2 % /48/. Näin ollen paperiin kohdistuu suurempi pintapaine teräsnauhan paksummilla alueilla.

4.6.2 Lämpötila

Pintalämpötila on tarttumisen kannalta melko kriittinen suure. Kuitukomponenttien voidaan olettaa toimivan kontaktiliiman tavoin lämpötilan ollessa korkeampi kuin hiilihydraattien ja ligniinin pehmenemislämpötilat. Valssattaessa suurella nopeudella (max. 500 m/min) teräsnauha kuumenee muokkausenergian johdosta. Mitatut pintalämpötilat Tornion terästehtaalla ovat korkeimmillaan n. 120-130° C (teräsrullan päädyistä mitattuna). Tartuntatapauksia on kyetty vähentämään lämpötilaa alentamalla (valssausnopeutta pienentämällä), mutta tällöin myös tuotantokapasiteetti laskee.

Lämpötila vaikuttaa myös paperiin kohdistuvaan pintapaineeseen teräksen lämpölaajenemisen kautta. Teräsrullan seistessä varastossa lämpötila laskee, jolloin teräsnauhan pituus pienenee. Tällöin paperiin kohdistuva pintapaine todennäköisesti kasvaa teräsrullan "kiristymisen" myötä.

4.7 Metallipinnan ominaisuudet

Metallipinnan mekaanisista ominaisuuksista on tärkein pinnan sileys. Mitä sileämpi pinta on, sitä parempi kontakti muodostuu pinnan ja paperin välille. Tällöin paranevat edellytykset sidosten syntymiselle ja tarttuvuus lisääntyy. Metallit ovat yleensä polaarittomia, mutta metallin pintaan muodostuvien oksidikerrosten kautta pinta saa myös polaarisia ominaisuuksia. Pinnan polaarisuuden

ja hydrofiilisyyden lisääntyminen aiheuttaa voimakkaamman tartunnan /28/. Paperi tarttuu voimakkaammin hydrofiilisille kuin hydrofobisille pinnoille. Kuivakreppausprosessin tartuntakerrosten analyysissä on havaittu koneilla, joilla on koettu liian voimakkaan tartunnan aiheuttamia ajovaikeuksia, kerroksen olevan hydrofiilisempi kuin koneilla, joilla vastaavia vaikeuksia ei ole /28/.

5. JALOTERÄKSEN VALMISTUKSESSA KÄYTETTÄVÄN VÄLIPAPERIN TUOTE- JA PROSESSIANALYYSI

5.1 Tuoteanalyysi

Tuoteanalyysin tarkoituksena on selvittää, mitä vaatimuksia lopullinen käyttötarkoitus asettaa paperille. Tuoteanalyysissä etsitään ja luetteloidaan käytön kannalta kriittiset ja tärkeät paperin ominaisuudet, joita nimitetään tuotteen tilasuureiksi. Tuoteanalyysin toinen vaihe on niiden mittausten etsintä, joilla paperin tärkeimmät tilasuureet ovat määritettävissä /23/.

Lujuusominaisuudet

Välipaperin lujuusominaisuuksien tulee olla hyvät, jotta paperi kestää jaloteräksen valmistusprosessin aiheuttamat rasitukset. Paperin yleistä lujuustasoa voidaan kuvata vetolujuudella. Pintalujuuden tulisi lisäksi olla hyvä, jotta paperin pinnasta ei irtoaisi kuituja tai kuitufragmenteja teräksen pintaan eri prosessivaiheissa.

Öljynabsorptio

Välipaperin tulee kyetä imemään valssausöljyn jäänteet tasaisesti teräsnauhan pinnalta ennen hehkutusta. Lisäksi tietyillä teräslaaduilla myös nauhanhiontalinjalla öljy täytyy poistaa tarkkaan teräksen pinnalta. Näin ollen paperilta vaaditaan tasaista ja riittävää öljynabsorptiokykyä. Jotta paperin absorptio-ominaisuudet olisivat tasaiset, formaation tulee olla mahdollisimman hyvä. Imukyvyn saavuttamiseksi vaaditaan paperilta riittävää bulkkia ja huokoisuutta.

Kemiallinen puhtaus ja pH

Välipaperi ei saa aiheuttaa kemiallisia reaktioita teräksen pinnalla eikä siitä saa irrota vieraita aineita teräksen pintaan. Näin ollen paperin sulfaatti- ja kloridipitoisuuksien tulee olla alhaiset. Jotkut teräksenvalmistajat asettavat lisäksi rajoituksia paperin Fe-pitoisuudelle. Lisäksi välipaperin vesiuutteen pH:n on oltava mahdollisimman lähellä neutraalia, jotta paperi ei aiheuttaisi korroosiota teräksen pinnalla.

Mekaaninen puhtaus

Välipaperi ei saa sisältää teräksen pintaa vaurioittavia partikkeleja (kuitukimput, kivet, hiekka, muovi jne.). Mekaanisten epäpuhtauksien määrää voidaan seurata esim. valopöydän ja automaattisten laskureiden avulla. Lisäksi tehtaalla käytettävän kuituraaka-aineen (Lohjan Paperissa paalimassa) puhtauteen tulee kiinnittää erityistä huomiota.

Muut ominaisuudet

Välipaperin tulee pysyä teräslevyn alapinnalla katkaisulinjalla. Tätä varten paperiin muodostetaan staattinen sähkövaraus. Paperin staattisen sähkövarauksen muodostumiseen vaikuttaa mm. paperissa oleva kosteus. Varauksen muodostumiseen voidaan vaikuttaa myös paperin lisäaineilla.

5.2 Prosessianalyysi

Prosessianalyysiä käytetään selvittäessä prosessin hallintasuureiden vaikutusta lopputuotteen ominaisuuksiin. Tavoitteena voi olla mm. paperinvalmistusprosessin ja paperin laadun optimointi /23/.

Taulukossa 4 on esitetty välipaperin valmistusprosessin hallintasuureiden vaikutus lopputuotteen olennaisiin ominaisuuksiin. Tarkastelu on suoritettu lähinnä Lohjan Paperin prosessia ajatellen, jolloin kuituraaka-aineena toimii paalimassa.

Taulukko 4.

Välipaperin prosessianalyysi (+ = edullinen vaikutus, - = epäedullinen vaikutus, 0 = ei merkittävää vaikutusta, ? = epäselvä vaikutus)

	Formaatio	Bulkki	Öljynabsorptio	Sileys	Vetolujuus	Repäisylujuus	Pintalujuus	Tarttuminen	Kustannukset
Mäntymassan osuus kasvaa	-	0	-	-	+	+	+	-	-
Koivumassan osuus kasvaa	+	0	+	+	-	-	-	+	+
Valkaistun massan käyttö	0	0	0	0	0	0	0	+	-
Jauhatusmäärä kasvaa	+	-	-	+	+	-	+	?	-
pH nousee	0	0	0	0	0	0	0	-	0
Tärkkelys	0	0	0	0	+	-	+	-	0
PAM-liima (DSR)	0	0	0	0	+	-	+	?	-
Hydrofobiliima	0	0	0	0	0?	0?	0?	-	-
Retentioaine	0	0	0	0	0	0	0	-	0
Kalanterin viivapaine kasvaa	0	-	-	+	0	0	0	-	0

Taulukossa 4 on oletettu, että retentioainetta tai PAM-liimaa ei yliannostella. Kyseisten kemikaalien yliannostustilanteessa paperin formaatio saattaa huonontua. Lisäksi on oletettu koivumassan hinta halvemmaksi kuin vastaavan mäntymassan hinta ja valkaistun massan hinta korkeammaksi kuin vastaavan valkaisemattoman massan. Muilta osin tarkastelu perustuu kirjallisuusosan viitteistä kerättyihin tietoihin.

6. KIRJALLISUUSOSAN YHTEENVETO

Kirjallisuusosan tavoitteena oli selvittää välipaperin ominaisuuksia ja niihin vaikuttavia tekijöitä. Lisäksi kartoitettiin paperin tarttuvuuteen vaikuttavia tekijöitä lähinnä kuituraaka-aineiden ja paperin lisäaineiden ominaisuuksien kannalta. Paperin rakenteen vaikutuksesta tarttuvuuteen ei kirjallisuudesta juuri löytynyt tutkimustietoa, joten aihe käsiteltiin suppeammin.

Jaloteräksen valmistuksessa käytettävän välipaperin tärkeimpiä tilasuureita ovat hyvät lujuusominaisuudet sekä tasainen ja riittävä öljynabsorptiokyky. Lujuusominaisuuksiin voidaan vaikuttaa massakoostumuksella, jauhatuksella sekä lisäaineiden käytöllä. Välipaperin öljynabsorption tasaisuuteen voidaan vaikuttaa parantamalla formaatiota. Helpoin tapa parantaa formaatiota olisi lyhytkuituisen massan osuuden lisääminen paperissa. Nykyisin välipaperi valmistetaan 100 %:sta mäntysulfaattimassasta, joten lyhytkuituisen massan (esim. koivusulfaatti) lisäyksellä paperin öljynabsorption tasaisuus paranisi olennaisesti.

Öljynabsorptiokykyä voitaisiin parantaa myös lisäämällä paperin bulkkia eli pienentämällä tiheyttä. Tämä olisi mahdollista toteuttaa luopumalla konekiillostuksesta ja -kalanteroinnista. Rajoittavana tekijänä on kuitenkin paperissa esiintyvät epäpuhtaudet, jotka murskautuvat kovanippisessä konekalanterissa. Näin ollen kalanteroinnin poisjättäminen lisää epäpuhtauksien esiintymisriskiä.

Paperin tarttumiseen metallipintaan vaikuttavat kuiduissa oleva kosteus, kuitukomponentit ja paperin sisältämät lisäaineet. Lisäksi vaikuttavia tekijöitä ovat paperin rakenne sekä puristuspaine, lämpötila ja metallipinnan ominaisuudet. Välipaperin tarttumispotentiaalia voidaan pienentää vähentämällä tai poistamalla paperin koostumuksesta sellaisia komponentteja, joilla on alhainen pehmenemislämpötila. Tällaisia aineita ovat mm. ligniini, tärkkelys, hydrofobiliimat ja retentioaineet, joiden pehmenemislämpötilat ovat selvästi alhaisemmat kuin kylmävalsausprosessissa esiintyvät maksimilämpötilat. Pehmenemisen seurauksena kuitu- ja lisäainekomponenttien voidaan olettaa toimivan kontaktiliiman tavoin.

Pehmenemislämpötiloihin voidaan vaikuttaa myös paperin kosteuspitoisuudella. Kaikkien paperin sisältämien komponenttien pehmenemislämpötilat alenevat huomattavasti kosteuspitoisuuden kasvaessa. Näin ollen tarttuvuutta ajatellen olisi edullista kuivata paperi niin kuivaksi kuin laatuominaisuuksien kannalta on mahdollista. Kosteuspitoisuuden pitäminen mahdollisimman alhaisella tasolla helpottaa myös staattisen sähkövarauksen muodostamista välipaperiin katkaisulinjoilla.

Puulajilla ja massanvalmistusmenetelmällä on myös olennainen vaikutus paperin tarttuvuuteen metallipintaan. Mäntysulfaattimassasta valmistetun arkin tarttuvuuden on havaittu olevan lähes nelinkertainen verrattuna koivusulfaattimassasta valmistettuun arkkiin. Lisäksi on havaittu, että valkaisemattomien papereiden adheesio metallipintaan on voimakkaampi kuin vastaavien valkaistujen papereiden. Välipaperin tarttumispotentiaalia voidaan siis kirjallisuuden perusteella pienentää lisäämällä koivumassan osuutta ja siirtymällä valkaistuihin massoihin. Valkaistujen massojen käyttöä rajoittavana tekijänä on valkaisemattomia massoja korkeampi hinta.

Paperin ja metallipinnan välistä adheesiota voidaan hallita ns. irrokeaineilla. Kylmävalssausprosessissa kyseeseen tulisi lähinnä mineraaliöljyn (valssausöljy) käyttö irrokeaineena. Välipaperin ja teräspinnan väliin voitaisiin aikaansaada irrotusvaikutuksen aiheuttava öljykalvo jättämällä teräsnauhan pinnalle niin paksu öljykerros, ettei paperi kykene absorboimaan kaikkea öljyä. Järjestelyn mahdollistamiseksi jouduttaisiin kylmävalssaamalla kuitenkin suorittamaan melko huomattavia muutoksia, jotta teräsrullien päistä valuva ylimääräinen öljy saataisiin kerättyä talteen.

KOKEELLINEN OSA

7. VÄLIPAPEREIDEN PAPERITEKNINEN VERTAILU

7.1 Taustaa

Outokumpu Polarit Oy:n Tornion kylmävalssaamolla käytetään usean eri valmistajan välipapereita. Lisäksi kylmävalssaamolla käytetään uudelleenrullattua välipaperia, jota on käytetty öljyttömissä prosessivaiheissa. Näin ollen välipapereiden raaka-aineissa ja ominaisuuksissa esiintyy eroja, jotka saattavat vaikuttaa paperin tarttumispotentiaaliin.

Liitteessä 1 on esitetty marras-joulukuussa 1993 kylmävalssaimilla esiintyneet tarttumistapaukset, joissa teräsnauhaa jouduttiin hiomaan. Marraskuussa on uudelleenrullattujen papereiden osuus tarttumistapauksista ollut 47 % ja joulukuussa 31 %. Vastaavana ajankohtana uudelleenrullatun paperin kulutuksen osuus välipaperin kokonaiskulutuksesta kylmävalssaimilla oli 16 %.

Samankaltaisiin tuloksiin on päädytty myös pitkäaikaisempien kokemusten perusteella ja uudelleenrullatun paperin käyttöä kylmävalssaimilla onkin pyritty Torniossa vähentämään. Uudelleenrullattujen papereiden korkean tarttumispotentiaalin johdosta päätettiin selvittää eroavatko niiden paperitekniset ominaisuudet käyttämättömien papereiden ominaisuuksista.

7.2 Paperinäytteet ja niiden analysointi

Paperitekniset ominaisuudet määritettiin eri paperitoimittajien näytteistä sekä kerran ja kaksi kertaa uudelleenrullatuista papereista. Sama paperirulla uudelleenrullataan enintään kaksi kertaa, jonka jälkeen sitä käytetään yleensä asiakkaille lähtevien teräsrullien tai -levyjen naarmuuntumista estävänä paperina. Lohjan Paperin näyte valittiin valmistuserästä, jonka paperitekniset ominaisuudet vastaavat mahdollisimman hyvin pitkän ajan keskiarvoa. Walkin näyte toimitettiin Terva-

saaresta ja Thilmanyn näyte otettiin paperirullasta Torniossa. Uudelleenrullatuista papereista otetut näytteet valittiin satunnaisesti kylmävalssaamon paperivarastosta Torniossa.

Paperinäytteistä määritettiin standardien mukaisesti seuraavat paperitekniset ominaisuudet: neliömassa, paksuus ja tiheys, vetolujuus, murtovenymä, repäisylujuus, Bendtsen-karheus, huokoisuus Gurley-Hill ja uute-pH. Käytetyt standardimenetelmät on lueteltu liitteessä 2.

7.3 Tulokset

Eri valmistajien ja uudelleenrullattujen papereiden paksuuksissa ja tiheyksissä ei havaittu merkittäviä eroja (taulukko 5). Merkillepantavaa on, että uudelleenrullatut paperit eivät ole puristuneet kokoon. Näin ollen öljyttömissä prosesseissa välipaperiin kohdistuvat puristusvoimat ovat todennäköisesti melko pieniä, eikä paksuuden ja tiheyden perusteella voida selittää uudelleenrullattujen papereiden korkeaa tarttumispotentiaalia.

Taulukosta 5 voidaan havaita uudelleenrullatun paperin säilyttävän myös lujuusominaisuutensa hyvin. Ainoastaan kerran uudelleenrullatun välipaperin konesuuntainen vetolujuus on selvästi pienempi kuin käyttämättömillä papereilla. Vastaavasti samalla paperilla poikkisuuntainen vetolujuus on selvästi korkeampi kuin muilla näytteillä, joten kyseisen näytteen kuituorientaatio on todennäköisesti normaalista poikkeava. Kaksi kertaa uudelleenrullatun paperin lujuusominaisuudet ovat jopa jonkin verran paremmat kuin Walkin ja Thilmanyn näytteissä. Tarkastelun perusteella myöskään lujuusominaisuuksilla ei näyttäisi olevan merkitystä paperin tarttuvuutta arvioitaessa.

Papereista määritettyjä karheuksia tarkasteltaessa voidaan havaita etenkin paperin UG-puolen olevan karheampi uudelleenrullatuilla papereilla kuin käyttämättömillä papereilla. Paperista on saattanut irrota kuituja tai paperi on joutunut kosketuksiin karhean pinnan kanssa eri käsittelyvaiheissa, minkä johdosta pinta

on muuttunut karheammaksi. Kuitenkin tarttumistapauksissa välipaperi on useimmiten kiinni paperin sileämmältä eli MG-puolelta. Koska uudelleenrullattujen papereiden karheus MG-puolella ei merkittävästi ole muuttunut, myöskään paperin pintaominaisuuksilla ei voida täysin selittää tarttumisherkkyyttä.

Taulukko 5. Välipapereista määritetyt paperitekniset ominaisuudet (THY = Thilmany, UR1 = kerran uudelleenrullattu paperi, UR2 = kaksi kertaa uudelleenrullattu paperi).

	Lohja	Walki	THY	UR1	UR2
Neliömassa, g/m ²	40,9	41,6	41,5	40,7	42,0
Paksuus, µm	50,9	51,0	52,1	52,2	50,5
Tiheys kg/m ³	802	816	796	779	831
Vetoindeksi ks, Nm/g	112	96	97	82	112
Vetoindeksi ps, Nm/g	41	43	36	53	42
Murtovenymä ks, %	1,8	1,5	2,1	1,4	1,9
Murtovenymä ps, %	3,0	2,5	3,7	2,8	3,5
Rep.ind. ks, mNm ² /g	7,0	5,4	5,6	5,9	6,7
Rep.ind. ps, mNm ² /g	8,4	6,3	8,5	6,8	8,5
Karheus MG, ml/min	70	55	110	80	105
Karheus UG, ml/min	290	365	450	490	475
Huokoisuus G-H, s	18	46	40	30	22
Uute-pH	6,8	5,3	6,4	6,6	6,5

Paperiteknisten ominaisuuksien perusteella ei voida tehdä luotettavia johtopäätöksiä arvioitaessa paperin tarttumispotentiaalia. Todennäköisin syy uudelleenrullattujen papereiden tarttumisherkkyyteen on käyttämättömiä papereita korkeampi kosteuspitoisuus. Esim. Lohjan Paperi toimittaa välipaperin n. 2, 5 %:n kosteuspiitoisuudessa, kun taas uudelleenrullattujen papereiden kosteus tasapainottuu n. 5 %:iin. Tällöin kaikkien paperin sisältämien komponenttien pehmenemislämpötilat laskevat selvästi ja välipaperin tarttumispotentiaali kasvaa.

8. TERÄKSEEN TARTTUNEEN KERROKSEN ANALYSOINTI

8.1 Analyysien suoritus

Teräkseen tarttuneen kerroksen koostumuksen selvittämiseksi Outokumpu Polarit Oy:n Tornion jaloterästehtaalta saatu teräslevyyn tarttunut näyte analysoitiin Keskuslaboratoriossa. Lisäksi analysoitiin samasta kuituraaka-aineesta ja lisääineista valmistettu paperinäyte, jotta saataisiin selville jonkin komponentin mahdollinen rikastuminen teräksen pinnalle.

Tartuntakerroksesta ja vertailupaperista tehtiin DKM-uute ja uuton jälkeen ajettiin IR-spektrit sekä uuttuneesta että uuttumattomasta osasta näytteitä. Tartuntakerroksen ja referenssipaperin monosakkaridikoostumus määritettiin happohydrolyysin jälkeen nestekromatografisesti. Lisäksi näytteistä tehtiin ligniinipitoisuusmääritykset käyttäen menetelmää KCI 115b:82.

8.2 Tartuntakerroksen koostumus

DKM-uutettujen tartunta- ja paperinäytteiden IR-spektrit olivat keskenään hyvin samanlaisia. Vähennysspektreillä saatiin tartuntakerroksesta esille kuitenkin hartsiliima, jota ei havaittu vertailupaperista. Lisäksi tartuntanäytteestä havaittiin vähän silikonia ja hiilivetyjä, jotka ovat todennäköisesti peräisin valssausöljystä.

Tartuntakerroksen ja vertailupaperin monosakkaridikoostumukset on esitetty taulukossa 6. Tuloksista voidaan havaita, että tartuntakerroksessa on hiukan pienempi pitoisuus monosakkarideja kuin vertailupaperissa. Glukoosipitoisuus tartuntanäytteessä on kuitenkin korkeampi kuin vertailunäytteessä. Glukoosi on peräisin selluloosasta, glukomannaanista ja paperiin lisätystä tärkkelyksestä. Tärkkelyspitoisuutta ei voitu määrittää, sillä näytteitä ei ollut riittävästi jäljellä. Näin ollen on mahdotonta arvioida mistä komponentista hieman korkeampi glukoosipitoisuus tartuntakerroksessa aiheutuu.

Taulukko 6.

Tartuntakerroksesta ja vertailupaperista määritetyt monosakkaridikoostumukset.

	Tartuntakerros	Vertailupaperi
Monosakkar., mg/100 mg	84,1	86,2
Arabinoosi, %	0,5	0,9
Galaktoosi, %	0,5	0,5
Glukoosi, %	84,4	83,8
Ksyloosi, %	7,9	8,0
Mannoosi, %	6,7	6,8
Ramnoosi, %	ei havaittu	ei havaittu

Ligniini määritysten tulokset on esitetty taulukossa 7. Tartuntakerroksessa sekä gravimetrinen että liukoisin ligniinin pitoisuudet ovat suuremmat kuin vertailupaperissa. Kokonaisligniinipitoisuus on tartuntakerroksessa 0,9 %:a suurempi kuin referenssipaperissa. Näin ollen ligniinin rikastuminen teräksen pintaan on selvästi voimakkaampaa kuin muilla paperin komponenteilla.

Taulukko 7.

Tartuntanäytteestä ja referenssipaperista määritetyt ligniinipitoisuudet.

Näyte	Gravimetrinen ligniini, %	Liukoinen ligniini, %	Kok.ligniini, %
Tartuntakerros	4,6	0,4	5,0
Vertailupaperi	4,0	0,1	4,1

Tartuntakerroksen koostumus on hyvin samankaltainen kuin referenssipaperilla. Tulokset antavat kuitenkin viitteitä alhaisemmissa lämpötiloissa pehmenevien komponenttien, kuten hartsiliima, ligniini ja mahdollisesti tärkkelys, vaikutuksesta tarttumiseen. Analyysien perusteella kyseisten komponenttien käyttöä välipaperin valmistuksessa tulisi välttää tarttumispotentiaalin pienentämiseksi.

9. PURISTINKOKEET

9.1 Tavoite

Puristinkokeiden tavoitteena oli selvittää paperin massa- ja lisäainekoostumuksen sekä paperin pintakäsittelyn vaikutusta tartuntaan. Tarkoituksena oli luoda laboratoriopuristimella kylmävalssausprosessia vastaavat olosuhteet välipaperin tartuttamiseksi teräslevyyn. Kun tarttumisen aikaansaamiseksi vaadittavat olosuhteet tunnetaan, voidaan verrata massa- ja lisäainekoostumukseltaan sekä viimeistelyltään erilaisten papereiden tarttuvuutta vakio-olosuhteissa. Lisäksi kylmävalssausprosessin olosuhteiden optimoinnin kannalta olisi tärkeää tuntea tarkat lämpötila- ja painearvot, joiden ylittyessä paperi tarttuu teräsnauhaan.

9.2 Kokeiden suoritus

9.2.1 Koelaitteisto

Puristinkokeissa käytettiin TKK:n Puutekniikan laboratorion INFOR-levypuristinta (liite 3). Puristinlevyjen koko on 90 * 90 cm ja niiden lämpötilaa säädetään sähkövastusten avulla. Puristuspainetta säädetään kahden hydraulisen sylinterin avulla, joiden halkaisija on 240 mm. Käytetty hydraulinen paine muutetaan pintapaineeksi sylintereiden pinta-alan ja puristettavan kappaleen pinta-alan suhteen avulla:

$$p_p = p_h * \frac{A_m}{A_k} \quad (2)$$

missä

p_p on pintapaine [MPa]

p_h on hydraulinen paine [MPa]

A_m on sylintereiden mäntien pinta-ala [mm²]

A_k on puristettavan kappaleen pinta-ala [mm²]

Paperinäytteitä puristettiin kahden kylmävalssatun teräslevyn välissä. Levynäytteet otettiin Tornion terästehtaalta hehkutus- ja peittäuslinjan alkupäästä, jotta teräksen pinnanlaatu olisi käytännön olosuhteita vastaava. Koska tarttumistapauksia esiintyy eniten 2 mm:n paksuusalueella, valittiin teräslevyjen paksuudeksi 2 mm. Kokeissa käytettiin kahta eri levykokoa: 297 * 210 mm (A4) ja 141 * 141 mm.

Levyjen pinnalle levitettävä valssausöljy saatiin Tornion terästehtaan Sendzimir 1-kylmävalssaimelta. Näyte otettiin telastoa jäähdyttävästä öljykierrosta ja se vastaa koostumukseltaan täysin kylmävalssausprosessissa paperiin imeytyvää öljyä.

9.2.2 Paperit

Paperinäytteet valittiin Lohjan Paperi Oy:n tuotevalikoimasta massa- ja lisäainekoostumuksen sekä pintakäsittelyn perusteella. Näytteet pyrittiin valitsemaan siten, että lujuusominaisuuksissa ei esiintyisi huomattavia eroja koepisteiden välillä. Kokeissa käytetyt paperit ovat valmistusnäytteitä, jotka otetaan asiakasrullasta pituusleikkauksen jälkeen. Uudelleenrullattuja papereita edustavat näytteet otettiin Torniossa kylmävalssaamon paperivarastosta.

Koepisteitä on kaikkiaan 11. Massakoostumuksen lisäksi luettelossa on ilmoitettu päälystämättömien papereiden sisältämät lisäaineet. Kyseisten lisäaineiden pitoisuuksista ei ollut käytettävissä luotettavaa tietoa. Suluissa on esitetty tulosten käsittelyssä koepisteistä käytetyt lyhenteet.

1. MG vton välipaperi, kalanteroitu 40 g/m² (MG VTON)
 - 100 % valkaisematon mäntysulfaatti
 - hydrofobiliima, tärkkelys, polyakryyliamidi (DSR), retentioaine
2. MG vton välipaperi, liimaton, kalanteroitu 40 g/m² (MG LIIMAT.)
 - 100 % valkaisematon mäntysulfaatti (venäläinen sulfaattimassa)
 - tärkkelys, retentioaine

3. UG vton film base, 40 g/m², neutraalimärkäluja (UG ML-N)
 - 50 % valkaisematon mäntysulfaatti / 50 % valkaisematon koivusulfaatti
 - märkälujaharts, tärkkelys, retentioaine
4. UG vton väli-imupaperi 60 g/m² (UG 60)
 - 100 % valkaisematon mäntysulfaatti
 - tärkkelys, retentioaine
5. MG 1/2-vtu välipaperi, kalanteroitu 35 g/m² (MG 1/2-VTU)
 - 85 % valkaistu mäntysulfaatti / 15 % SAP-massa
 - hydrofobiliima, tärkkelys, retentioaine
6. UG 1/2-vtu käärepaperi 35 g/m² (UG 1/2-VTU)
 - 50 % valkaistu mäntysulfaatti / 35 % valkaistu koivusulfaatti / 15 % SAP
 - hydrofobiliima, tärkkelys, retentioaine
7. MG vtu välipaperi, kalanteroitu 40 g/m² (MG VTU)
 - 75 % valkaistu mäntysulfaatti / 25 % valkaistu koivusulfaatti
 - hydrofobiliima, tärkkelys, retentioaine
8. MG vtu, MG-puoli pintaliimattu, kalanteroitu 40 g/m² (PINTAL.)
 - 40 % valkaistu mäntysulfaatti / 40 % valkaistu koivusulfaatti / 30 % hylkyä
 - tärkkelyspohjainen pintaliima
9. Lopabase, pigmenttipäällystetty, 55 g/m² (PÄÄLL.)
 - valkaistu sulfaattimassa
10. Kerran uudelleen rullattu välipaperi (UR 1)
 - valkaisematon
11. 2 kertaa uudelleenrullattu välipaperi (UR 2)
 - valkaisematon

9.2.3 Paperinäytteiden testaus

Ilmastoiduista paperinäytteistä määritettiin standardien (liite 2) mukaisesti seuraavat paperitekniset ominaisuudet ennen puristusta ja puristuksen jälkeen:

- paksuus
- tiheys
- vetolujuus (kone- ja poikkisuunta)
- murtovenymä (kone- ja poikkisuunta)
- repäisylujuus (kone- ja poikkisuunta)

Lisäksi puristuksen jälkeen paperinäytteistä määritettiin öljypitoisuus neliömassan avulla. Ilmastoiduista näytteistä määritettiin neliömassa ennen puristusta ja sen jälkeen. Neliömassojen erotus oletettiin öljypitoisuudeksi.

9.2.4 Koeohjelma

Tarttumisen aikaansaamiseksi vaadittavia olosuhteita ei tarkoin tunneta varsinkaan paperiin kohdistuvan puristuspaineen osalta. Paperiin kohdistuvaa puristuspainetta arvioitiin kylmävalssaimen kelaimeen vetojen avulla (kaava 3).

$$p = \frac{s}{R} \quad (3)$$

missä

p	on paperiin kohdistuva puristuspaine [Pa]
s	on kelattavan teräsnauhan kireys [N/m]
R	on kelaimeen säde [m]

Kaavan 3 perusteella maksimipaineeksi suurimmalla mahdollisella kelaimeen vedolla (60 tonnia) saatiin n. 1,8 MPa. Tämän lisäksi on huomioitava teräsnauhan linssimäisen profiilin ja teräksen lämpötilaajanemisen vaikutus puristuspaineeseen.

seen. Koska näiden tekijöiden vaikutuksen selvittäminen on laskennallisesti hankalaa, jouduttiin tyytymään arvioihin. Lämpötilaajanemisen maksimivaikutus on kelaimen mitoituslaskelmien perusteella kaksinkertainen verrattuna kelaimen vedosta aiheutuvaan paineeseen. Kun lisäksi huomioidaan teräsnauhan profiilin vaikutus, kokonaispaineen arvioidaan olevan suuruusluokkaa 5-10 MPa.

Lämpötila-alue, jolla tarttumista alkaa kylmävalssaimilla esiintyä, on 110-120 °C. Tämän johdosta koesarja aloitettiin lämpötilassa 125 °C. Puristusajaksi valittiin yksi tunti ja paperiin absorboituva öljymäärä pyrittiin saamaan samalle tasolle kuin kylmävalssaimilla tapahtuneissa tarttumistapauksissa (liite 4). Koesarja aloitettiin arvioiduilla olosuhteilla ja niitä muutettiin papereista määritettyjen ominaisuuksien perusteella mahdollisimman hyvin kylmävalssausprosessia vastaavaksi.

9.3 Tulokset

9.3.1 Tarttuminen

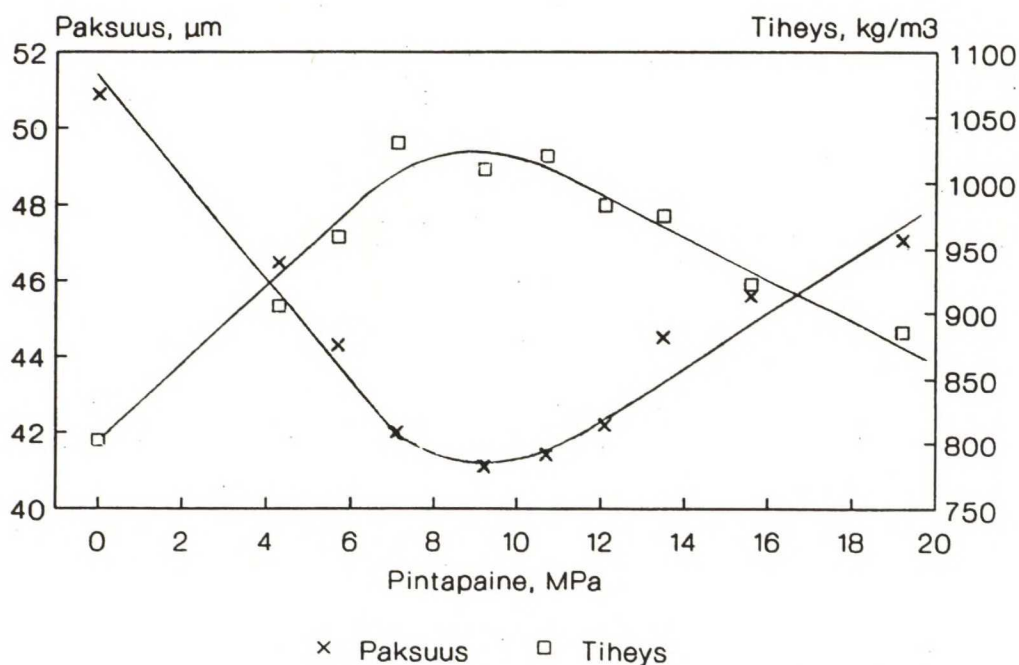
INFOR-laboratoriopuristimella suoritetuissa kokeissa ei saatu paperia tarttumaan teräslevyyn. Käytetyt olosuhteet ja puristetuista papereista määritetyt ominaisuudet on esitetty liitteessä 5. Paperin tartuttamiseksi käytettiin jopa 29 MPa:n pintapainetta ja 145 °C:n lämpötilaa. Pisin puristusaika oli 6 tuntia, jonka aikana puristimen annettiin jäähtyä vapaasti 125 °C:n alkulämpötilasta 75 °C:een. Lisäksi suoritettiin puristus ilman valssausöljyä. Missään koepisteessä ei tästä huolimatta havaittu minkäänlaista adheesiota välipaperin ja teräslevyn välillä.

Tarttumisen aikaansaaminen tasopuristimella on suoritettujen kokeiden perusteella hankalaa. Ilmeistä on, että saavutettavat olosuhteet eivät täysin vastaa kylmävalssausprosessin olosuhteita. Paperiin kohdistuvat voimat kylmävalssauksessa poikkeavat teräsnauhan rullalle menon vuoksi selvästi tasopuristuksessa esiintyvistä voimista. Lisäksi valssaimella paperi kelataan teräsrullan sisään vedonalaisena, mitä ei tasopuristimella kyetä simuloimaan. Kokeissa saatiin kuitenkin tietoa eri paperilajien käyttäytymisestä korkean paineen ja lämpötilan alaisena.

9.3.2 Paksuus ja tiheys

Referenssipaperin (MG VTON) paksuuden ja tiheyden kehittyminen pintapaineen funktiona on esitetty kuvassa 18. Paksuusreduktion maksimikohta saavutettiin 9,2 MPa:n pintapaineella, jolloin myös tiheys oli suurempi kuin alemmalla tai korkeammalla painealueella. Tiheyteen tosin vaikuttaa myös paperiin imeytynyt öljymäärä, jota ei kyetty pitämään aivan vakiotasolla eri koepisteissä. Paperin paksuusreduktion pieneneminen pintapaineen kasvaessa johtuu todennäköisesti paperin rakenteen rikkoutumisesta, jolloin kuituja saattaa nousta paperin pinnasta koholle. Tällöin paperin paksuusreduktio ja tiheyden kasvu pienenevät.

Tuloksen varmistamiseksi suoritettiin puristus pienemmällä näytteellä (141 * 141 mm), jolloin pintapaineeksi saatiin 29 MPa. Paksuusreduktio ja tiheyden kasvu jäi kuitenkin selvästi pienemmäksi kuin 9,2 MPa:n pintapaineessa (liite 5). Näin ollen lähimmäksi liitteessä 4 esitettyjä tarttumistapauksissa määritettyjä välipaperin paksuuksia päästään painealueella 9-10 MPa.

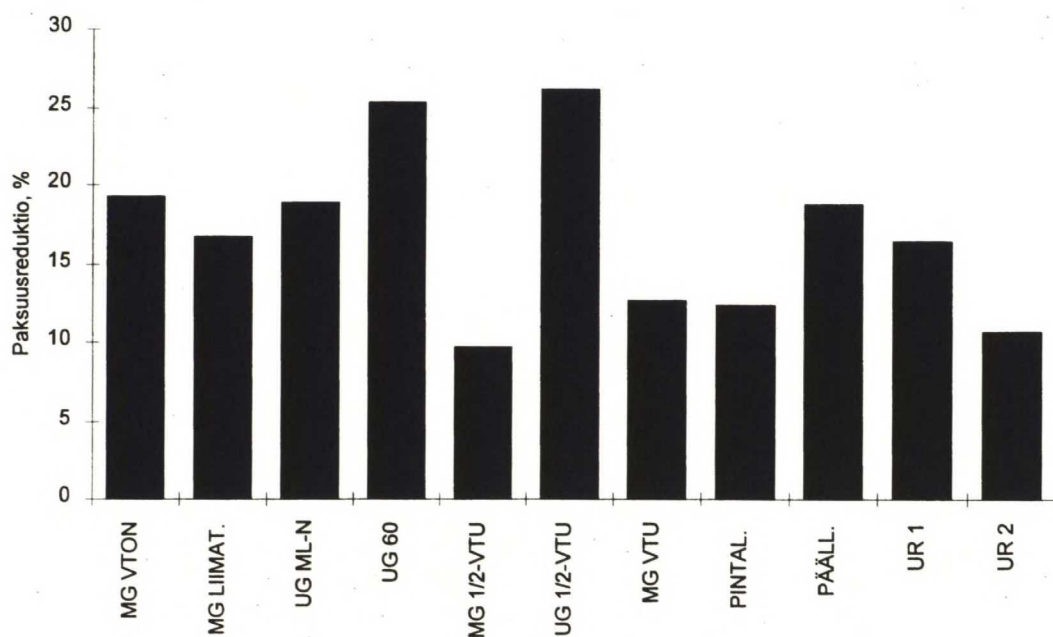


Kuva 18. Puristusten jälkeen määritetyt välipaperin paksuudet ja tiheydet pintapaineen funktiona (puristustemperatura 125 °C, aika 1 h).

Pintapaineen lisäksi muutettiin referenssipaperilla suoritetuissa kokeissa lämpötilaa ja puristusaikaa. Tulokset on esitetty taulukoituna liitteessä 5. Lämpötilan nostamisella 145 °C:een ei ollut merkittävää vaikutusta paperin paksuusreduktioon. Koska valssausöljyn leimahduspiste on n 150 °C, ei katsottu tarpeelliseksi suorittaa puristuksia korkeammissa lämpötiloissa.

Myöskään pidemmällä puristusajalla ei havaittu saavutettavan eroja paperin paksuusreduktioon tai tiheyden muutoksiin. Referenssipaperilla saavutettujen tulosten perusteella päätettiin eri paperilajeille tehtävät puristuskokeet suorittaa vakio-olosuhteissa: paperiin kohdistuva pintapaine 9,2 MPa, lämpötila 125 °C ja puristusaika 1 h. Papereista ennen puristusta ja sen jälkeen määritetyt ominaisuudet on esitetty liitteessä 6.

Eri paperilajien paksuusreduktiot on esitetty kuvassa 19. Tuloksista havaitaan valkaisemattomilla papereilla paksuusreduktion olevan suuremman kuin valkaisu- tulla paperilla. Tämä johtuu todennäköisesti ligniinin termoplastisesta muokkautumisesta korkean lämpötilan ja paineen alaisena.

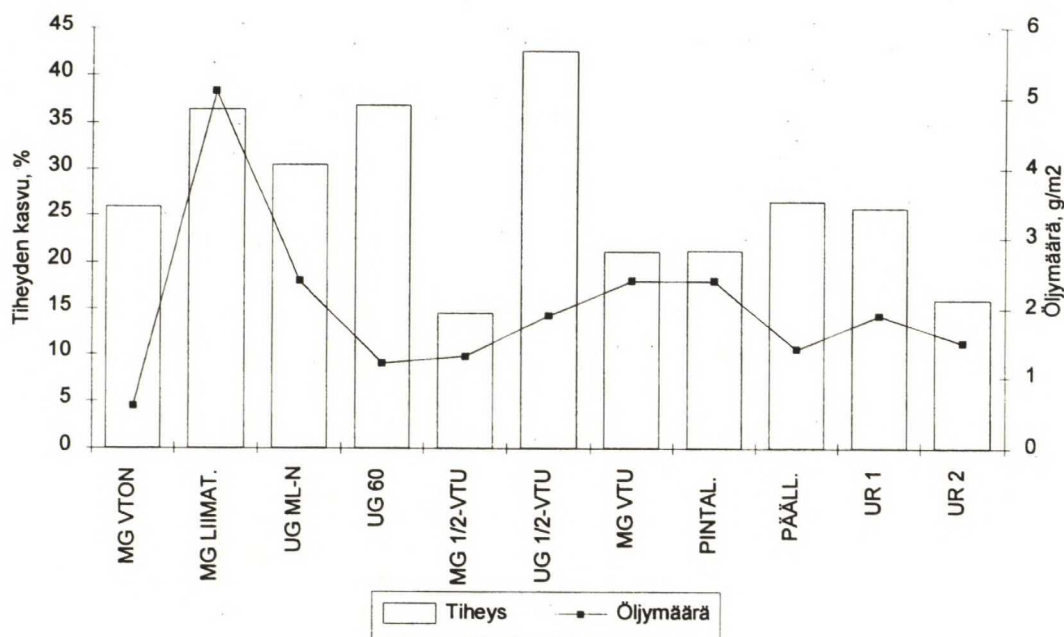


Kuva 19. Paperinäytteistä puristuksen jälkeen määritetyt paksuusreduktiot.

Lisäksi kuvasta 19 voidaan havaita kalanteroinnin vaikutus paperin käyttäytymiseen puristuksen alaisena. Kalanteroimattomilla UG-papereilla paksuusreduktio on ollut selvästi suurempi kuin vastaavilla kalanteroiduilla paperilajeilla. Tämän johdosta olisi edullista, että välipaperia ei kalanteroitaisi. Tällöin paperin olisi mahdollista puristua enemmän kokoon, millä olisi todennäköisesti edullinen vaikutus sekä tarttuvuuden että paperin muiden ominaisuuksien suhteen.

Mikäli paperia ei kalanteroida paperiin saattaa jäädä epäpuhtauksia, jotka normaalisti murskautuvat kovanippisessä konekalanterissa. Paperin epäpuhtauksista aiheutuvat pintavirheet ovat hankalia teräksenvalmistajien kannalta. Näin ollen kalanteroinnin poisjättämistä ei voida suositella, jos ei olla varmoja lopputuotteen riittävästä puhtaudesta.

Papereista määritetyt tiheyden muutokset ja öljymäärät on esitetty kuvassa 20. Tiheyden muutokset seuraavat paksuusreduktiota lukuunottamatta liimatonta välipaperia, johon imeytynyt öljymäärä on tavoitetta 1-2 g/m² selvästi suurempi.

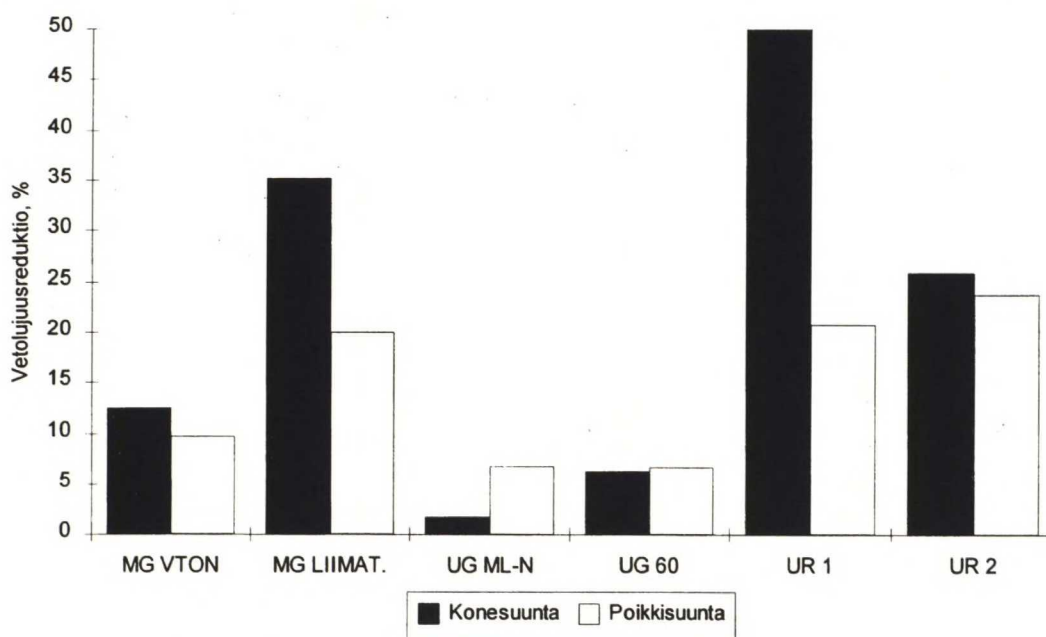


Kuva 20. Papereista puristuksen jälkeen määritetyt tiheyden muutokset ja öljypitoisuudet.

Muissa koepisteissä öljymäärä on ollut melko lähellä tavoitetta ja näin ollen koepisteet ovat keskenään vertailukelpoisia. Liimattoman paperin tuloksia arvioitaessa on huomioitava korkean öljypitoisuuden vaikutus paperin ominaisuuksiin. Lisäksi liimattomasta paperista ei ollut saatavilla näytettä, joka olisi ollut valmistettu saman valmistajan massasta kuin referenssipaperi.

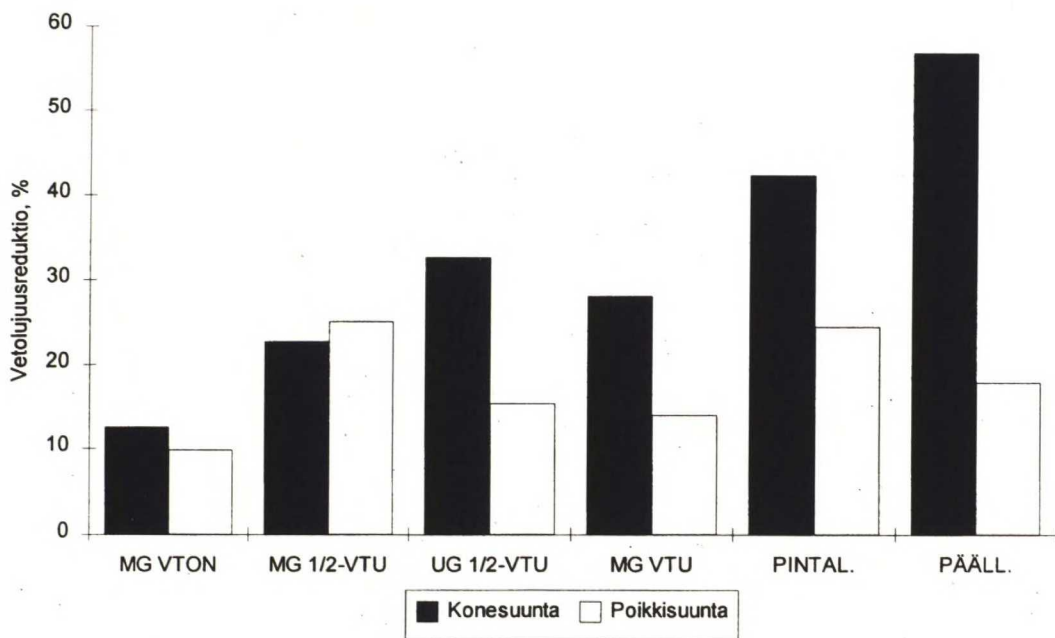
9.3.3 Vetolujuus

Valkaisemattomista papereista määritetyt vetolujuusreduktiot antavat selvän kuvan koepisteiden käyttäytymisestä korkean paineen ja lämpötilan alaisena (kuva 21). Tärkeämpi ominaisuus paperin käytettävyyttä ajatellen on konesuuntainen vetolujuus. Kuvasta 21 voidaan havaita, että kalanteroimattomat paperit säilyttävät konesuuntaisen vetolujuutensa selvästi paremmin kuin kalanteroidut paperit. Merkillepantavaa on myös uudelleenrullattujen papereiden selvästi suuremmat konesuuntaiset vetolujuusreduktiot referenssipaperiin verrattuna.



Kuva 21. Valkaisemattomista paperinäytteistä puristuksen jälkeen määritetyt vetolujuusreduktiot.

Kuvassa 22 on esitetty graafisesti valkaistuista ja pintakäsitellyistä papereista määritetyt vetolujuusreduktiot. Pintaliimattu ja päällystetty paperi ovat menettäneet huomattavan osan konesuuntaisesta vetolujuudestaan. Tämä johtuu luultavimmin pintaliiman ja päällysteen sisältämien alhaisissa lämpötiloissa pehmenevien komponenttien lasiintumisesta. Paperin rakenne oli puristuksen jälkeen "lasimainen" ja hauras. Tämän perusteella pintakäsiteltyjen papereiden käyttö kylmävalssauksessa ei ole mahdollista.

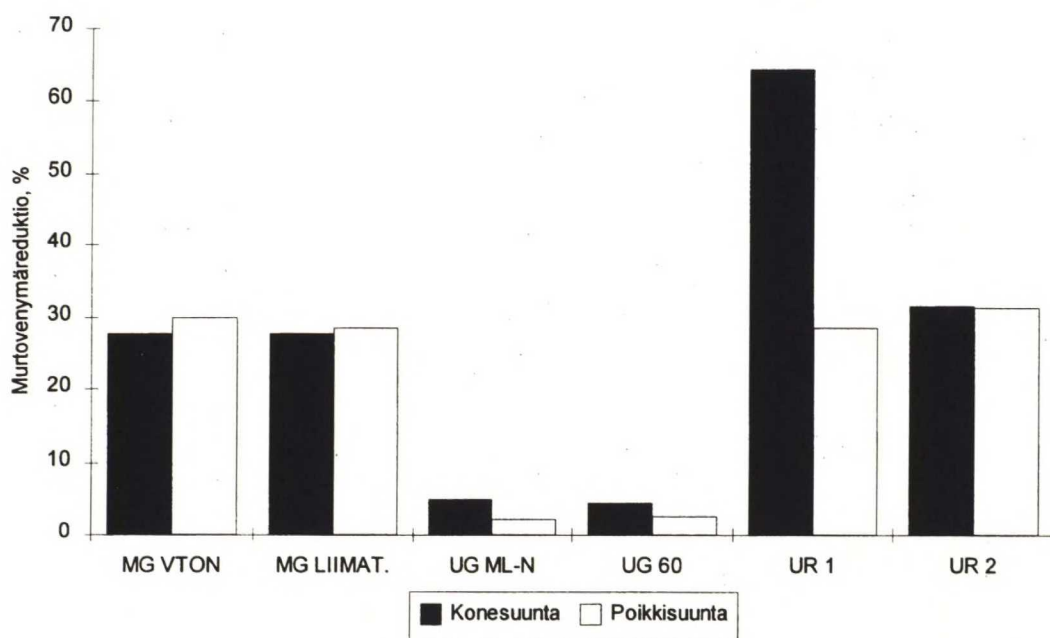


Kuva 22. Referenssipaperista sekä valkaistuista ja pintakäsitellyistä papereista puristuksen jälkeen määritetyt vetolujuusreduktiot.

Yllättävää tuloksissa on, että puolivalkaistun UG-paperin vetolujuusreduktio on suurempi kuin vastaavalla kalanteroidulla paperilla. Tämä saattaa johtua siitä, että UG-paperissa lyhytkuituisen massan osuus on suurempi kuin MG-paperissa. Valkaistun paperin konesuuntainen vetolujuusreduktio on kaksinkertainen verrattuna referenssipaperiin. Osasyynä tähän on myös valkaistun paperin korkeampi öljypitoisuus (ks. kuva 20). Esitetyn perusteella vetolujuutensa säilyttävät parhaiten referenssipaperin lisäksi kalanteroimattomat paperit (UG ML-N ja UG 60). Valkaistujen ja 1/2-valkaistujen papereiden reduktiot pysyvät tyydyttävällä tasolla.

9.3.4 Murtovenymä

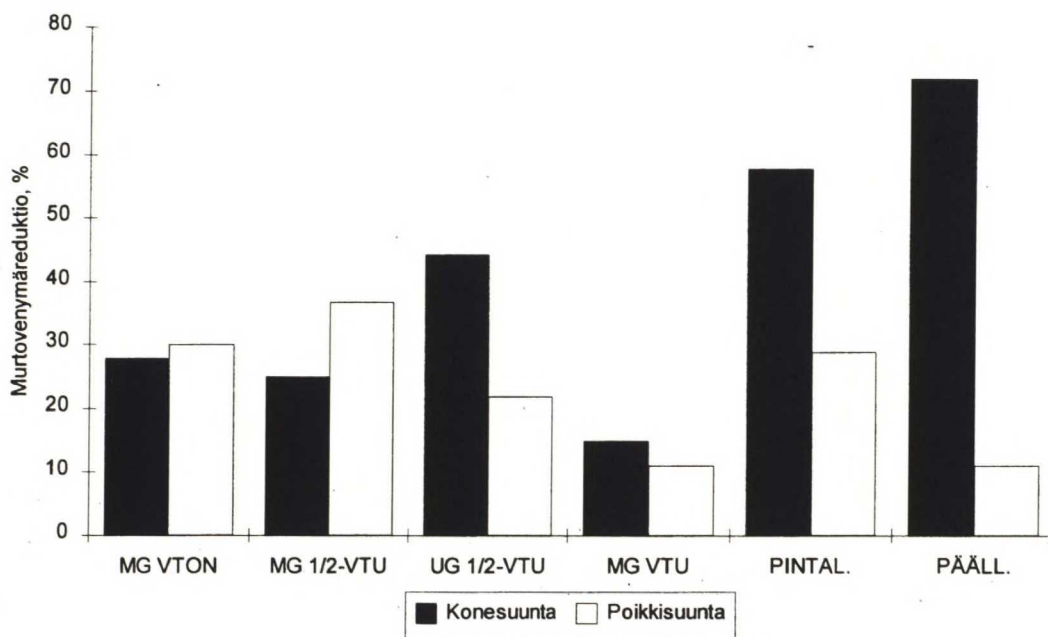
Valkaisemattomista papereista määritetyt murtovenymäreduktiot antavat samansuuntaisia tuloksia kuin vetolujuusreduktiot (kuva 23). Selvästi vähiten murtovenymä on heikentynyt UG-papereilla. Kerran uudelleenrullatun välipaperin konesuuntainen murtovenymä on heikentynyt lähes 70 %. Sen sijaan kaksi kertaa uudelleenrullattu paperi on säilyttänyt murtovenymänsä lähes yhtä hyvin kuin referenssipaperi. Liimaton välipaperi ei murtovenymäreduktion suhteen poikkea vertailupaperista. Käytettävyyden kannalta paperin konesuuntainen murtovenymä on merkittävämpi kuin poikkisuuntainen.



Kuva 23. Valkaisemattomista papereista puristuksen jälkeen määritetyt murtovenymäreduktiot.

Valkaistuista ja pintakäsitellyistä papereista määritetyt murtovenymän muutokset on esitetty kuvassa 24. Kuvasta havaitaan, että valkaistun välipaperin murtovenymä on selvästi pienempi kuin muilla koepapereilla. Pintaliimatun ja päällystetyn paperin murtovenymät ovat heikentyneet romahdusmaisesti. Tulos tukee vetolujuusmääritysten perusteella tehtyä havaintoa pintakäsiteltujen papereiden

soveltumattomuudesta kylmävalssausprosessissa käytettäväksi. Puolivalkaistujen papereiden murtovenymäreduktiot eivät merkittävästi poikkea referenssipaperista.

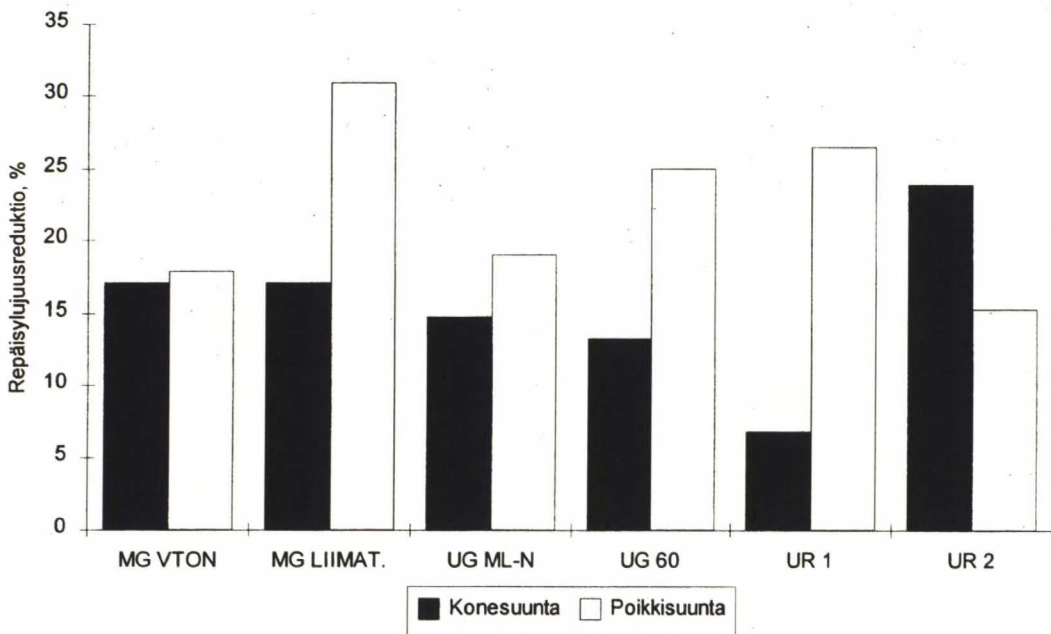


Kuva 24. Referenssipaperista sekä valkaistuista ja pintakäsitellyistä paperinäytteistä puristuksen jälkeen määritetyt murtovenymäreduktiot.

9.3.5 Repäisylujuus

Poikkisuuntaisen repäisylujuuden avulla voidaan ennustaa välipaperin käytettävyyttä kylmävalssaamalla. Paperi, jolla on heikko poikkisuuntainen repäisylujuus, repeää herkästi esimerkiksi kelattaessa teräsrullaa auki hehkutus- ja peittauslinjoilla. Tällöin paperia kulkeutuu teräksen mukana hehkutusuuniin ja teräsnauhaan syntyy pintavirheitä. Puristuksen jälkeen papereista määritetyt repäisylujuusreduktiot on esitetty kuvissa 25 ja 26. Tulosten arviointia vaikeuttaa se, että eri koepisteiden välillä oli huomattavia eroja repäisylujuuksissa (liite 6). Poikkisuuntaiset repäisylujuudet vaihtelivat välillä 5,9-12 mNm²/g. Näin ollen osalla koepisteistä repäisylujuuden absoluuttinen arvo on suuresta reduktiosta huolimatta puristuksen jälkeen selvästi korkeampi kuin esim. päällystetyn paperin repäisylujuuden arvo ennen puristusta.

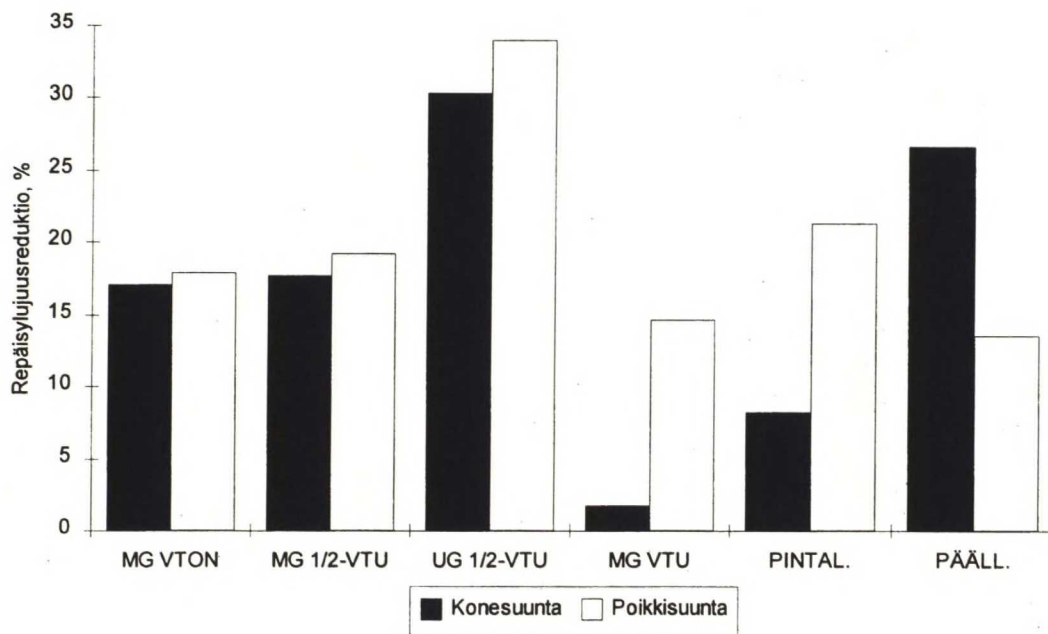
Valkaisemattomilla papereilla ei esiintynyt suuria eroja repäisylujuuksissa lu-
kuunottamatta koepistettä UG 60, jonka poikkisuuntainen repäisylujuus ennen
puristusta oli 12 mNm²/g. Kuvasta 25 voidaan havaita, että liimattoman välipaperin
poikkisuuntainen repäisylujuusreduktio on ollut selvästi suurempi kuin referenssi-
paperilla. Tämä on selitettävissä liimattoman paperin suuremmalla öljypitoisuudel-
la. Myös kerran uudelleenrullatun välipaperin reduktio poikkisuunnassa on melko
suuri, vaikka koepisteen repäisylujuus ennen puristusta oli heikompi kuin muilla
valkaisemattomilla papereilla. Koepisteellä UG 60 oli puristuksen jälkeen selvästi
korkein poikkisuuntainen repäisylujuus huolimatta korkeahkosta reduktiosta. Kaksi
kertaa uudelleenrullatun ja märkälujan UG-paperin poikkisuuntaiset repäisylujuus-
reduktiot ovat samalla tasolla referenssipaperin kanssa.



Kuva 25. Valkaisemattomista papereista puristuksen jälkeen määritetyt repäisylujuusreduktiot.

Kuvasta 26 nähdään, että pintaliimatulla ja päällystetyllä paperilla poikkisuun-
tainen repäisylujuusreduktio on ollut samaa luokkaa kuin referenssipaperilla
huolimatta selvästi alhaisemmista lähtöarvoista. Päällystetyn paperin poikkisuun-
taiset repäisylujuudet ovat yhdessä kerran uudelleenrullatun paperin kanssa

puristuksen jälkeen selvästi huonommat kuin muissa koepisteissä. Puolivalkaistulla UG-paperilla puristuksen jälkeinen repäisylujuus on suuresta reduktiosta huolimatta vertailupaperin tasolla. Valkaistun paperin repäisylujuusreduktiot pysyvät alhaisella tasolla ja puristuksen jälkeiset repäisylujuusarvot ovat vertailukelpoisia referenssipaperin kanssa.



Kuva 26. Referenssipaperista sekä valkaistuista ja pintakäsitellyistä papereista puristuksen jälkeen määritetyt repäisylujuusreduktiot.

Repäisylujuutensa säilyttivät parhaiten referenssipaperin lisäksi valkaistu paperi ja myös kaksi kertaa uudelleenrullattu välipaperi. Repäisylujuus oli puristuksen jälkeen kohtalaisella tasolla myös muissa koepisteissä lukuunottamatta pintakäsiteltyjä papereita ja kerran uudelleenrullattua välipaperia.

9.3.6 Öljynabsorptio

Koepapereiden öljynabsorption tasaisuutta arvioitiin tarkastelemalla teräslevyjen pintaa puristuksen jälkeen. Arviot on koottu taulukkoon 8. Massa- ja lisäainekoostumuksella ei havaittu olevan merkittävää vaikutusta. Sen sijaan paperin viimeiste-

lyllä on kokeiden perusteella selvä korrelaatio öljynabsorption tasaisuuden kanssa. Taulukosta 8 voidaan havaita, että kalanteroiduilla papereilla öljynabsorptio paperin MG-puolella on epätasainen johtuen konekiillotuksen ja -kalanteroinnin yhteisvaikutuksesta. Kalanteroinnissa paperin tiheyteen ja pinnan karheuteen syntyy paikallisia vaihteluita etenkin formaation ollessa huono. Tällöin myös paperin öljynimukyky vaihtelee paperin tason suunnassa. Kalanteroimattomilla UG-papereilla teräslevyn pinta oli täysin puhdas massakoostumuksesta ja neliömassasta riippumatta.

Pintaliimatulla ja päällystetyllä paperilla teräslevyn pinta oli kirjava ja papereiden päällysteistä oli lämpötilan vaikutuksesta irronnut aineita teräksen pintaan. Tämän perusteella kylmävalssausprosessissa ei ole mahdollista käyttää pintakäsiteltyä välipaperia, joka sisältää alhaisissa lämpötiloissa pehmeneviä komponentteja.

Taulukko 8.

Koepapereiden öljynabsorption tasaisuus (UG-papereilla MG-puoli on paperin viirapuoli ja UG-puoli paperin yläpuoli. Ei öljyä ++, hieman läikkää +, läikikäs -, kirjava ja runsaasti öljyä --).

Koepiste	MG-puoli	UG-puoli
MG VTON	+	++
MG LIIMAT.	+	++
UG ML-N	++	++
UG 60	++	++
MG 1/2-VTU	+	++
UG 1/2-VTU	++	++
MG VTU	+	++
PINTAL.	--	-
PÄÄLL.	--	--
UR 1	+	++
UR 2	+	++

9.4 Johtopäätökset puristinkokeista

Puristinkokeiden perusteella ei kyetty arvioimaan eri paperilajien tarttuvuutta teräspintaan. Missään koepisteessä ei havaittu adheesiota koepaperin ja teräslevyn välillä. Tarttumisen aikaansaaminen tasopuristimella on hankalaa todennäköisesti siitä syystä, että puristuksessa vallitsevat olosuhteet poikkeavat tietyiltä osin huomattavasti kylmävalssauksen olosuhteista. Tasopuristimella ei saada aikaan vastaavia voimia, joita teräksen rullalle meno kylmävalssauksessa aiheuttaa. Lisäksi valssauksessa välipaperi kelataan teräskerrosten väliin vedonalaisena, mitä ei myöskään kyetty laboratoriossa simuloimaan.

Suoritetuissa kokeissa saatiin kuitenkin tietoa eri paperilajien käyttäytymisestä korkean paineen ja lämpötilan alaisena. Tulosten perusteella nykyisin käytössä oleva valkaisematon välipaperi, valkaisemattomat UG-paperit ja valkaistu paperi säilyttivät selvästi parhaiten lujuusominaisuutensa kokeissa käytetyissä olosuhteissa. Sen sijaan pintakäsitellyt paperit ja kerran uudelleenrullattu paperi menettivät puristuksessa huomattavan osan käytettävyyden kannalta tärkeistä ominaisuuksistaan. Näin ollen pintakäsitellyjä papereita ei voida käyttää välipaperina kylmävalssauksessa. Myös uudelleenrullatun paperin käyttö saattaa lisätä paperista aiheutuvien pintavirheiden esiintymistä.

Öljynabsorption tasaisuutta arvioitaessa ei massa- ja lisäainekoostumuksella havaittu olevan merkittävää vaikutusta. Konekiillotuksella ja -kalanteroinnilla havaittiin olevan selvä korrelaatio öljynabsorption tasaisuuden kanssa. Kalanteroituilla papereilla esiintyi MG-puolella hieman läikikkyyttä, kun taas kalanteroitomilla UG-papereilla teräslevyn pinta oli täysin puhdas massakoostumuksesta ja neliömassasta riippumatta. Pintakäsitellyillä papereilla teräslevyn pinta oli puristuksen jälkeen kirjava ja papereiden pinnasta oli lämpötilan vaikutuksesta irronnut aineita teräksen pintaan. Tämän perusteella pintakäsitellyt paperit eivät sovellu kylmävalssauksessa käytettäväksi välipaperiksi huonojen absorptio-ominaisuuksien ja alhaisissa lämpötiloissa pehmenevien sideaineiden vuoksi.

Kokeiden perusteella koepapereista soveltuvat parhaiten kylmävalssauksessa käytettäväksi kalanteroimattomat UG-paperit. Niiden käyttöönottoa rajoittavat kuitenkin paperissa mahdollisesti esiintyvät epäpuhtaudet, jotka murskautuvat kovanippisessä konekalanterissa. Näin ollen kalanteroimattomia papereita ei voida ottaa kylmävalssaimilla käyttöön, mikäli paperin puhtaudesta ei ole varmuutta. Myös valkaistu välipaperi säilyttää lujuusominaisuutensa (murtovenymä ja repäisylujuus) paremmin kuin nykyisin käytössä oleva valkaisematon välipaperi. Öljynabsorption tasaisuudessa ei sen sijaan havaittu valkaisemattoman ja valkaistun paperin välillä merkittäviä eroja. Valkaistun välipaperin käyttöönotolle ei esitetyn perusteella ole mitään teknisiä esteitä.

10. TUOTANTOKOEAJO

10.1 Koeajon suoritus

Kirjallisuuden ja laboratoriokokeiden perusteella päätettiin suorittaa tuotantomittakaavainen koeajo valkaistulla välipaperilla. Valkaistun välipaperin käytettävyyttä arvioitiin ajamalla Tornion Sendzimir 1-valssaimella erä valkaistua paperia valkaisemattoman paperin sijasta. Koska tilaustilanne kylmävalssaamalla koeajankohtana oli hyvä, tahallisia yrityksiä paperin tartuttamiseksi ei ollut mahdollista suorittaa. Lisäksi välipaperin tarttuminen aiheuttaa kustannuksia laadun heikkene-
misen vuoksi, joten koeajossa tyydyttiin seuraamaan pintavirheiden muodostumista normaalin tuotannon puitteissa.

Koeajoa varten valmistettiin Lohjan Paperissa 43 paperirullan erä, joka vastaa vajaan kahden viikon paperinkulutusta Sz 1-valssaimella. Koska valmistettu koe-erä oli pieni, paperin koostumusta ei voitu muuttaa huomattavasti muusta tuotannosta poikkeavaksi. Näin ollen valkaistun välipaperin massakoostumus oli n. 70 % valkaistua mäntysulfaattia ja n. 30 % valkaistua koivusulfaattia. Lisäksi koe-erä sisälsi massatärkkelystä, hydrofobiliimaa ja retentioainetta. Ajosta määritetyt paperitekniset ominaisuudet on esitetty liitteessä 7.

Vertailun mahdollistamiseksi seurattiin ensin noin viikon ajan nykyisin käytössä olevien valkaisemattomien papereiden aiheuttamia pintavirheitä, jonka jälkeen ajettiin yhtäjaksoisesti valkaistu koe-erä. Molempien jaksojen aikana kirjattiin ylös teräsrullakohtaisesti käytetyn välipaperirullan numero. Valssauksen päätyttyä mitattiin jokaisen teräsrullan kyljestä lämpötila. Muut valssausolosuhteet saatiin prosessitietokoneesta.

10.2 Tulokset ja niiden arviointi

Taulukossa 9 on esitetty valkaisemattoman ja valkaistun välipaperin seurantajaksojen keskimääräiset valssausolosuhteet sekä havaittujen välipapereista aiheutuneiden pintavirheiden määrät. Teräsrullakohtaiset tiedot on esitetty liitteissä 8 ja 9. Taulukosta 9 voidaan havaita, että seurantajaksojen aikana vallinneet keskimääräiset olosuhteet ovat keskenään vertailukelpoisia. Myös esiintyneet maksimilämpötilat ovat samalla tasolla. Näin ollen valkaisemattoman ja valkaistun välipaperin käytettävyyden vertailu on mahdollista olosuhteiden puolesta.

Taulukko 9.

Seurantajaksojen aikana Sendzimir 1- valssaimella vallinneet keskimääräiset olosuhteet ja teräsnauhasta havaitut välipaperista aiheutuneet pintavirheet (254).

	Valkaisematon	Valkaistu
Teräsrullia, kpl	137	212
Paksuus, mm	2,10	2,45
Kok. reduktio, %	52,3	52,5
Viim. pist. red., %	10,0	8,4
Nopeus, m/min	197	201
Kelainvedot, ton II / I	45 / 42	49 / 45
Lämpötila, °C	89,2	86,2
Maksimilämpötila, °C	111	112
Pintavirhe 254, kpl-%	11,7	9,9

Seurantajaksojen aikana ei esiintynyt tarttumistapauksia, joiden vuoksi teräsnauhaa olisi jouduttu hiomaan. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että maksimilämpötilat jäivät melko alhaisiksi. Seurantajaksojen aikana esiintyi kuitenkin välipaperista aiheutuneita pintavirheitä, joiden perusteella voidaan vertailla valkaisematonta ja valkaistua välipaperia.

Taulukosta 9 havaitaan, että valkaistusta välipaperista on aiheutunut lähes 2 %-yksikköä vähemmän pintavirheitä kuin nykyisin käytetyistä valkaisemattomista välipapereista. Koska olosuhteet ovat jaksojen aikana olleet vertailukelpoiset, valkaistun välipaperin käyttöönotolla voitaisiin koeajon perusteella vähentää paperista aiheutuvia pintavirheitä ja sitä kautta myös välipaperista aiheutuvia kustannuksia. Tuloksen luotettavuutta heikentää luonnollisesti seurantajakson lyhyys, mutta koeajon perusteella valkaistun paperin käyttöönotolle ei ole mitään estettä. Pitempiaikaisella seurannalla voitaisiin selvittää myös valkaisemattoman ja valkaistun välipaperin tarttuvuudessa esiintyviä eroja.

11. YHTEENVETO

Kokeellisen osan tavoitteena oli selvittää massakoostumuksen ja lisäaineiden sekä viimeistelyn vaikutusta paperin tarttuvuuteen teräspintaan. Tarkoituksena oli arvioida voidaanko tarttumistapauksia kylmävalssaimilla vähentää muuttamatta valssausprosessin hallintasuureita.

Selvitys aloitettiin vertailemalla Outokumpu Polarit Oy:n Tornion kylmävalssaamolla nykyisin käytössä olevien välipapereiden ominaisuuksia. Tulosten perusteella paperitekniisiä ominaisuuksia ei voida käyttää hyväksi arvioitaessa tarttumispotentiaalia. Testattujen papereiden välillä ei esiintynyt merkittäviä eroja paperiteknisissä ominaisuuksissa. Uudelleenrullatun välipaperin suuri tarttumisherkyys voidaan selittää "käyttämättömiä" papereita suuremmalla kosteuspitoisuudella. Paperin kosteuspitoisuuden kasvaessa sen sisältämien komponenttien pehmenemislämpötilat alenevat selvästi, jolloin tarttuvuus metallipintaan lisääntyy.

Teräslevyyn tarttuneen kerroksen analysoinnin perusteella tartuntakerroksen ja välipaperin koostumus on hyvin samankaltainen. Tuloksista voidaan kuitenkin havaita ligniinin, hartsiliiman ja mahdollisesti tärkkelyksen rikastumista välipaperista teräsnauhan pintaan. Välipaperin tarttumispotentiaalia voitaisiin näin ollen pienentää vähentämällä tai poistamalla paperin koostumuksesta kyseisiä komponentteja.

Puristinkokeiden perusteella ei voitu vertailla eri paperilajien tarttuvuutta teräspintaan, sillä missään koepisteessä ei havaittu adheesiota paperin ja teräslevyn välillä. Kokeiden perusteella voitiin kuitenkin arvioida koepapereiden käyttäytymistä korkean paineen ja lämpötilan alaisena. Tulosten perusteella parhaiten ominaisuuksensa puristuksessa säilyttivät valkaisemattomat UG-paperit. Myös valkaistu paperi säilyttää lujuusominaisuutensa (murtovenymä ja repäisylujuus) hieman paremmin kuin nykyisin käytössä oleva valkaisematon välipaperi. Pintakäsiteltyjen papereiden lujuusominaisuudet romahtivat puristuksessa eikä niiden käyttöä kylmävalssausprosessissa voida harkita.

Puristinkokeissa arvioitiin myös koepapereiden öljynabsorption tasaisuutta. Massakoostumuksella ja lisäaineilla ei havaittu olevan merkittävää vaikutusta. Sen sijaan kalanteroinnilla havaittiin olevan selvä korrelaatio öljynabsorption tasaisuuden kanssa. Kalanteroitujen papereiden MG-puolella esiintyi lievää läikikkyyttä, kun taas kalanteroimattomilla UG-papereilla teräslevyn pinta oli täysin puhdas. Pintaliimatulla ja päällystetyllä paperilla teräspinta oli kirjava ja päällysteistä oli irronnut lämpötilan vaikutuksesta aineita teräksen pintaan. Pintakäsiteltyjä papereita ei näin ollen voida huonojen absorptio-ominaisuuksien vuoksi käyttää kylmävalssaimilla.

UG-papereiden käyttöönottoa rajoittavat paperissa mahdollisesti esiintyvät epäpuhtaudet. Koska kalanterointi suoritetaan paperin epäpuhtauksien murskaamiseksi, kalanteroimattomia UG-papereita ei voida ottaa kylmävalssaimilla käyttöön ilman varmuutta paperin puhtausasteesta. Valkaistun paperin käytölle kylmävalssauksessa ei puristinkokeissa sen sijaan löydetty teknistä estettä.

Tornion Sendzimir 1-valssaimella suoritettua koeajon perusteella paperista aiheutuvia pintavirheitä voitaisiin vähentää siirtymällä valkaistuu välipaperin. Vertailukelpoisissa olosuhteissa suoritettua koeajossa valkaistusta paperista aiheutui n. 2 %-yksikköä vähemmän pintavirheitä kuin nykyisin käytössä olevista välipapereista. Tuloksen luotettavuutta heikentää seurantajakson lyhyys, mutta koeajon perusteella valkaistun paperin pitempiäikäisestä käytöstä ei aiheudu ongelmia kylmävalssaamalla.

12. EHDOTUKSET JATKOTOIMENPITEIKSI

Jatkossa olisi hyvä keskittyä tuotantomittakaavassa tehtäviin kokeisiin ja seurantaan. Esimerkiksi valkaistun ja täysin lisääaineettoman paperin pitempiäikäisellä käytöllä olisi mahdollista selvittää voiko tarttumistapauksia vähentää paperin koostumusta muuttamalla vai onko ainoa keino valssaimen hallintasuureiden optimointi. Tarttumiseen vaikuttavien tekijöiden selvittämiseksi tulisi kylmävalssaimilla kirjata teräsrullakohtaisesti esiintyneet lämpötilat ja käytetyn välipaperirullan numero.

Jatkossa olisi myös hyvä selvittää onko mahdollista saada paperin puhtausaste niin hyväksi, että kalanteroimattomien UG-papereiden käyttö kylmävalssauksessa olisi mahdollista. Valkaisemattoman ja valkaistun paperin välillä tuotantomittakaavassa esiintyvät erot puhtausasteessa ja öljynabsorption tasaisuudessa tulisi myös selvittää, jotta olisi mahdollista arvioida kokonaisuutena esim. valkaistun paperin käyttöönotosta aiheutuvia taloudellisia vaikutuksia.

Työn ulkopuolelle rajattu valssaimen hallintasuureiden optimointi voisi myös olla tarpeellista. Lisäksi voitaisiin selvittää esimerkiksi valssausöljyn käyttöä irrotusvaikutuksen aiheuttavana aineena välipaperin ja teräsnauhan välillä. Öljyn käytöstä aiheutuvien kustannusten ja saavutettavien tulosten perusteella kyettäisiin arvioimaan menetelmän käyttökelpoisuutta.

LÄHDELUETTELO

1. Wirtzfeld, R. The Paper Year Book 1987, 43. painos. Harcourt Brace Jovanov. Inc., New York 1987, 582 s.
2. Bureau, W.H. Paper makes indirect contributions, too. Graphic Arts Monthly 49(1977)2, s. 70-72.
3. Eskelinen, V. PK 2 tuotteet eri tuoteryhmissä. Lohjan Paperi Oy:n sisäinen muistio, 1992. 5 s.
4. Gavelin, G. & Borg, O.V. Kraftpapper och kraftliner. Yrkesbok Y 313, 2. painos. Sveriges Skogsindustriförbund, Markaryd 1990, 97 s.
5. Anon. Polarit. Esite, Outokumpu Polarit Oy.
6. Eskelinen, V. Välipaperin käyttö jaloteräksen valmistuksessa. Lohjan Paperi Oy:n sisäinen muistio, 1991. 3 s.
7. Tuunainen, J. Henkilökohtainen tiedonanto.
8. Kajanto, I. Formaatio. Kuitu- ja paperifysiikka. Julk. Teknillinen korkeakoulu/Paperitekniikan laboratorio. Otaniemi 1990, s. VII1-VII17.
9. Paulapuro, H. Paperinvalmistusprosessin vaikutus paperin rakentamiseen. Kuitu- ja paperifysiikka. Julk. Teknillinen korkeakoulu/Paperitekniikan laboratorio. Otaniemi 1990, s. V1 - V47.
10. Nordman, L. & Aaltonen, P. Paperin rakenne. Paperin valmistus, 2. painos. Toim. A. Arjas. Julk. SPIY/TTA. Turku 1983, s. 169-206.

11. Lehtinen, A., Ilmoniemi, E., Wahren, D. & Koskimies, J. Puukuitujen käyttäytyminen vesilietteessä. Paperin valmistus, 2. painos. Toim. A. Arjas. Julk. SPIY/TTA. Turku 1983, s. 101-119.
12. Jokinen, O. Tutkimus kuitususpension flokkaantumistaipumukseen vaikuttavista tekijöistä. Licensiaattityö. Teknillinen korkeakoulu, puunjalostustekniikan laitos, Espoo 1984, 90 s.
13. Virkola, N.-E., Pikka, O. & Keitaanniemi, O. Sulfaattisellun valmistus. Puumassan valmistus, 2. painos. Toim. N.-E. Virkola. Julk. SPIY/TTA. Turku 1983, s. 291-410.
14. Levlin, J.-E. Tärkeimmät kuituraaka-aineet ja niiden paperitekniset ominaisuudet. Paperin valmistus, 2. painos. Toim. A. Arjas. Julk. SPIY/TTA. Turku 1983, s. 27-46.
15. Fahey, M.D. How bleaching can change pulp strength. Bleach Plant Operations Short Course. Atlanta, GA, June 22-26, 1992. TAPPI Press, Atlanta 1992. s. 55-68.
16. Ryti, N. Paperitekniikan perusteet, 8. muuttamaton painos. Otakustantamo, Espoo 1974, 169 s.
17. Keitaanniemi, O. Kuivalujaliimaus. Helsinki 1987. Insinöörijärjestöjen Koulutuskeskus, Julkaisu 158-87, Lisäaineet paperin valmistuksessa. 18 s.
18. Farley, C.E. Polyacrylamide dry strength resins applications. 1988 Wet and Dry Strength Short Course. Chicago, IL, April 13-15, 1988. TAPPI Press, Atlanta 1988. s. 55-58.
19. Unkalkar, V.G., Pai, N.M. & Meshramkar, P.M. Studies on the surface strength of paper. IPPTA 24(1987)3, s. 1-4.

20. McQueary, R.T. & Wilson, J.F. Cationic and amphoteric wet end starches. 1988 Wet and Dry Strength Short Course. Chicago, IL, April 13-15, 1988. TAPPI Press, Atlanta 1988. s. 61-64.
21. Gräsbeck, L. Paperin pintaliimaus. Paperin valmistus, 2. painos. Toim. A. Arjas. Julk. SPIY/TTA. Turku 1983, s. 751-761.
22. Arvela, P. Paperin sorptio-ominaisuudet. Paperin valmistus, 2. painos. Toim. A. Arjas. Julk. SPIY/TTA. Turku 1983, s. 253-270.
23. Mauranen, P. Tärkeimmät paperi- ja kartonkilajit. Paperin valmistus, 2. painos. Toim. A. Arjas. Julk. SPIY/TTA. Turku 1983, s. 361-390.
24. Leislahti, J. Kemiallisten massojen lajittelu. Puumassan valmistus, 2. painos. Toim. N.-E. Virkola. Julk. SPIY/TTA. Turku 1983, s. 707-777.
25. Gustafsson, H., Surakka, J., Huuskonen, J, Lankinen, M. & Matula, J. Massan puhdistus ja ilmanpoisto. Paperin valmistus, 2. painos. Toim. A. Arjas. Julk. SPIY/TTA. Turku 1983, s. 497-524.
26. Eskelinen, V. Henkilökohtainen tiedonanto.
27. Kankaanpää, M., Karhunen, J. & Rautiainen, H. Kalanterointi paperikoneella. Paperin valmistus, 2. painos. Toim. A. Arjas. Julk. SPIY/TTA. Turku 1983, s. 725-750.
28. Viilo, P. Eri massakomponenttien ja kemikaalien vaikutus paperiradan tarttumiseen Yankee-sylinterin pintaan kuivakreppausprosessissa. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, puunjalostustekniikan laitos, Espoo 1973, 88 s.
29. Fuxelius, K. Papperbanans adhesion till MG-cylinder vid torrkräppning. Svensk Papperstidn. 70(1967)5, s. 164-168.

30. Oliver, J.F. Dry-creping of tissue paper-a review of basic factors. Tappi J. 63(1980)12, s. 91-95.
31. Lindholm, C.-A. & Kettunen, J. Paperimassan luonnehtiminen. Puumassan valmistus, 2. painos. Toim. N.-E. Virkola. Julk. SPIY/TTA. Turku 1983, s. 291-410.
32. Ebeling, K., Levlin, J.-E. & Nordman, L. Kuitujen rakenteen vaikutus massan paperitekniisiin ominaisuuksiin. Puukemia, 2. painos. Toim. W. Jensen. Julk. SPIY/TTA. Turku 1977, s. 214-227.
33. Salmén, N.L. & Back, E.L. The influence of water on the glass transition temperature of cellulose. Tappi 60(1977)12, s. 137-140.
34. Goring, D.A.I. Thermal softening of lignin, hemicellulose and cellulose. Pulp Pap. Can. 64(1963)12, s. T517-T527.
35. Back, E.L. & Salmén, N.L. Glass transitions of wood components hold implications for molding and pulping processes. Tappi 65(1982)7, s. 107-110.
36. Back, E.L. Understanding the effects of hot calendering. Papier 43(1989)4, s. 144-154.
37. Anon. Pehmopaperikoneet. Metsäteollisuuden Työnantajaliiton opetusaineisto, julkaisu M-505. Lappeenranta 1979. 49 s.
38. Nordman, L. & Ugglä, R. Adhesion between fibre webs and metal surfaces during drying. Fibre-water interactions in papermaking. Sixth Fundamental Research Symposium, U.K., September 1977. British Paper and Board Industry Federation, London 1978. s. 459-473.

39. Anon. Mjukpapper tema vid SPCI sektionmöte. Svensk Papperstidn. 76(1973)3, s. 93-97.
40. Sjöström, E. & Janson, J. Hemiselluloosat. Puukemia, 2. painos. Toim. W. Jensen. Julk. SPIY/TTA. Turku 1977, s. 138-146.
41. Sjöström, E., Malinen, R., Palenius, I. & Virkola, N.-E. Keiton kemia. Puukemia, 2. painos. Toim. W. Jensen. Julk. SPIY/TTA. Turku 1977, s. 239-272.
42. Furman, G.S. & Su, W. A review of chemical and physical factors influencing Yankee dryer coatings. Nord. Pulp Pap. Res. J. 8(1993)1, s. 217-222.
43. Furman, G. Adhesive testing of chemical additives applied to Yankee dryers. Nonwovens Conference. Marco Island, FL, May 6-10, 1990. TAPPI Press, Atlanta 1990. s. 271-276.
44. Lipponen, E. Paperin liimaus. Paperin valmistus, 2. painos. Toim. A. Arjas. Julk. SPIY/TTA. Turku 1983, s. 289-309.
45. Tani, M. Rainan plastisoimistekijöiden vaikutukset softkalanteroinnissa. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, puunjalostustekniikan laitos, Espoo 1994, 105 s.
46. Horn, D. & Linhart, F. Retention aids. Paper Chemistry. Toim. J.C. Roberts. Julk. Chapman and Hall. New York 1991, s. 44-62.
47. Sloan, J.H. Troubleshooting Yankee dryer coating. Tissue Runnability Seminar. Nashville, TN, April 8-10, 1992. TAPPI Press, Atlanta 1992. s. 95-101.
48. Grekula, A. Henkilökohtainen tiedonanto.

LIITELUETTELO

- | | |
|---------|--|
| Liite 1 | Välipapereiden tarttumistapaukset Torniossa marras-joulukuussa 1993 |
| Liite 2 | Työssä käytetyt standardimenetelmät |
| Liite 3 | INFOR-laboratoriopuristimen periaatekaavio |
| Liite 4 | Välipapereista kylmävalssauksen jälkeen määritetyt ominaisuudet sekä mahdollinen tarttuminen |
| Liite 5 | Referenssipaperista puristuksen jälkeen määritetyt ominaisuudet |
| Liite 6 | Koepapereista ennen puristusta ja sen jälkeen määritetyt ominaisuudet |
| Liite 7 | Valkaistun välipaperin koe-erän paperitekniset ominaisuudet sekä massa- ja lisäainekoostumus |
| Liite 8 | Seurantajakson (valkaisematon paperi) teräsrullakohtaiset valssausolosuhteet sekä esiintyneet pintavirheet |
| Liite 9 | Tuotantokoeajon (valkaistu paperi) teräsrullakohtaiset valssausolosuhteet sekä esiintyneet pintavirheet |

Taulukko 1.

Välipaperin tarttumistapaukset kylmävalssaimilla marras-
kuussa 1993 (UR = uudelleenrullattu välipaperi).

Teräs- rulla	Valssain	Lämpötila °C	Välipaperi	Sz-pvm	HP-pvm
336066	1	-	Walki	24.10	9.11
341701	1	106	Thilmany	26.10	3.11
341844	1	-	UR	28.10	14.11
340051	1	-	UR	28.10	14.11
339681	1	118	Thilmany	30.10	8.11
343122	1	114	Thilmany	31.10	8.11
342172	1	-	UR	1.11	9.11
339571	1	-	UR	3.11	20.11
344101	1	125	Walki	9.11	10.11
339482	1	-	Walki	14.11	18.11
344991	1	114	UR	18.11	26.11
344992	1	115	Walki	18.11	26.11
344144	1	99	Walki	19.11	27.11
345652	1	-	UR	22.11	27.11
344161	1	-	UR	26.11	26.11

Taulukko 2.

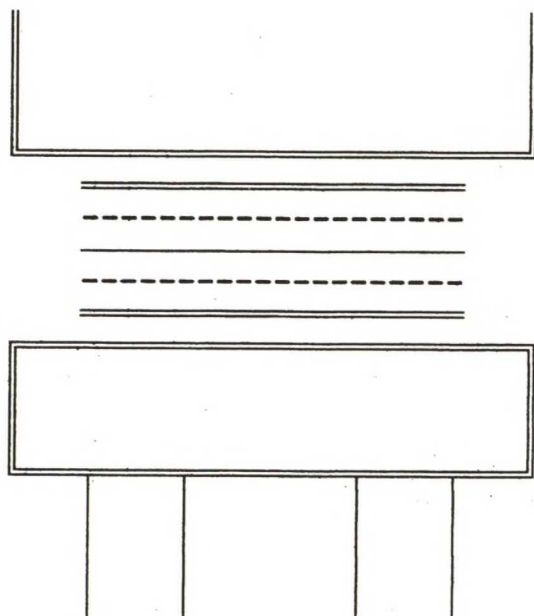
Välipaperin tarttumistapaukset kylmävalssaimilla joulukuussa 1993 (UR = uudelleenrullattu välipaperi).

Teräs-rulla	Valssain	Lämpötila °C	Välipaperi	Sz-pvm	HP-pvm
344994	1	-	UR	18.11	1.12
345462	2	-	UR	20.11	3.12
344842	1	115	Walki	20.11	4.12
344841	1	114	Walki	20.11	5.12
346154	1	-	UR	24.11	11.12
346314	1	-	?	28.11	1.12
347372	1	-	Walki	4.12	7.12
346776	1	120	Walki	5.12	8.12
348123	2	-	UR	8.12	20.12
347191	1	110	Lohja	8.12	12.12
347202	1	120	Lohja	8.12	12.12
347123	1	109	Walki	8.12	12.12
346371	1	-	Walki	12.12	20.12
348642	1	-	Walki	12.12	17.12
348341	1	-	Walki	12.12	15.12
348113	1	-	UR	13.12	19.12
348304	1	-	Walki	13.12	15.12

Taulukko 1. Työssä käytetyt standardimenetelmät.

Neliömassa	SCAN-P 6:75
Paksuus	SCAN-P 7:75
Tiheys	SCAN-P 7:75
Vetolujuus	SCAN-P 38:80
Murtovenymä	SCAN-P 38:80
Repäisylujuus	SCAN-P 11:73
Karheus Bendtsen	SCAN-P 21:67
Huokoisuus Gurley-Hill	SCAN-P 19:78
Uute-pH	SCAN-P 14:65

INFOR LABORATORIOPURISTIN



TERÄS
ÖLJY
PAPERI
ÖLJY
TERÄS

HYDRAULISET SYLINTERIT

PINTAPAINNE: 4,3 - 29 MPA

LÄMPÖTILA: 125 - 145° C

PURISTUSAIKA: 1 - 6 TUNTIA

TERÄSLEVYT: KYLMÄVALSSATTUJA TERÄSLEVYJÄ,
PAKSUUS 2 MM

ÖLJY: SENDZIMIR 1 VALSSAUSÖLJY, TORNIO

Taulukko 1.

Välipapereista valssauksen jälkeen määritetyt neliömassat, paksuudet ja öljymäärät sekä mahdollinen tarttuminen.

Neliömassa g/m ²	Paksuus µm	Öljymäärä g/m ²	Tarttuminen
42,1	40,0	0,7	ei
40,5	44,1	1,0	ei
40,9	46,1	1,6	ei
42,5	40,7	1,0	kiinni
60,0	58,8	2,0	ei
65,5	63,4	2,1	kiinni

Taulukko 1. Papereista puristuksen jälkeen määritetyt paksuudet, tiheydet ja öljymäärät (lämpötila 125° C ja aika 1 h).

Paperi	Pintapaine MPa	Paksuus µm	Tiheys kg/m ³	Öljy g/m ²	Tartunta MG/UG
1	4,3	46,5 ± 1,0	905	1,2	E/E
1	5,7	44,3 ± 1,0	959	1,6	E/E
1	7,1	42,0 ± 0,7	1030	2,5	E/E
1	7,1	46,6 ± 0,8	923	0	E/E
1	9,2	41,1 ± 0,9	1010	0,6	E/E
1	10,7	41,4 ± 1,0	1020	1,2	E/E
1	12,1	42,2 ± 1,4	983	0,6	E/E
1	13,5	44,5 ± 1,2	975	2,5	E/E
1	15,6	45,6 ± 1,6	922	1,2	E/E
1	19,2	47,1 ± 1,1	885	0,7	E/E
1	29,0	42,4 ± 1,3	994	1,2	E/E

Taulukko 2. Papereista puristuksen jälkeen määritetyt paksuudet, tiheydet ja öljymäärät (pintapaine 9,2 MPa ja aika 1 h).

Paperi	Lämpötila °C	Paksuus µm	Tiheys kg/m ³	Öljy g/m ²	Tartunta MG/UG
1	125	41,1 ± 0,9	1010	0,6	E/E
1	135	42,5 ± 1,2	986	1,0	E/E
1	145	43,6 ± 0,9	993	2,4	E/E

Taulukko 3.

Papereista puristuksen jälkeen määritetyt paksuudet, tiheydet ja öljymäärät (pintapaine 9,2 MPa ja lämpötila 125° C. 3 h puristuksessa loppulämpötila 102 °C ja 6 h puristuksessa 75 °C).

Paperi	Aika h	Paksuus μm	Tiheys kg/m ³	Öljy g/m ²	Tartunta MG/UG
1	1	41,1 ± 0,9	1010	0,6	E/E
1	3	41,8 ± 0,9	973	0,1	E/E
1	6	42,2 ± 1,1	983	0,6	E/E

Taulukko 1. Koepapereista ennen puristusta määritetyt neliömassat, paksuudet, tiheydet ja vetolujuudet 95 %:n luottamusväleinen.

Paperi	Neliö- massa g/m ²	Paksuus μm	Tiheys kg/m ³	Vetoindeksi ks Nm/g	Vetoindeksi ps Nm/g
1	40,9	50,9 ± 0,2	802 ± 3	112 ± 6	41 ± 1
2	37,1	54,7 ± 0,5	679 ± 6	105 ± 5	40 ± 2
3	39,8	63,6 ± 0,3	626 ± 3	116 ± 7	44 ± 2
4	60,1	91,4 ± 0,6	657 ± 5	111 ± 3	45 ± 2
5	36,9	44,2 ± 0,1	836 ± 2	88 ± 4	40 ± 1
6	36,2	61,8 ± 0,4	586 ± 4	104 ± 2	39 ± 1
7	40,6	48,7 ± 0,2	834 ± 3	100 ± 4	43 ± 1
8	39,0	48,4 ± 0,4	806 ± 6	97 ± 4	45 ± 3
9	52,8	57,5 ± 0,6	918 ± 9	93 ± 4	39 ± 1
10	40,7	52,2 ± 0,2	779 ± 3	82 ± 7	53 ± 2
11	42,0	50,5 ± 0,2	831 ± 3	112 ± 3	42 ± 1

Taulukko 2. Koepapereista ennen puristusta määritetyt murtovenymät (95 %:n luottamusväleinen) ja repäisylujuudet.

Paperi	Murtovenymä, ks %	Murtovenymä, ps %	Repäisyindeksi, ks mNm ² /g	Repäisyindeksi, ps mNm ² /g
1	1,8 ± 0,0	3,0 ± 0,1	7,0	8,4
2	1,8 ± 0,1	2,8 ± 0,2	7,0	9,7
3	2,0 ± 0,1	4,6 ± 0,4	6,1	7,9
4	2,2 ± 0,0	3,9 ± 0,3	7,5	12,0
5	1,6 ± 0,0	3,8 ± 0,2	6,2	7,8
6	1,8 ± 0,0	4,1 ± 0,2	6,6	10,0
7	2,0 ± 0,0	3,6 ± 0,2	5,7	7,5
8	1,9 ± 0,1	3,8 ± 0,4	6,1	7,5
9	1,8 ± 0,1	4,5 ± 0,2	6,0	5,9
10	1,4 ± 0,0	2,8 ± 0,2	5,9	6,8
11	1,9 ± 0,0	3,5 ± 0,2	6,7	8,5

Taulukko 3.

Koepapereista puristuksen jälkeen määritetyt neliömassat, paksuudet, tiheydet ja vetolujuudet 95 %:n luottamusväleineen.

Paperi	Neliö- massa g/m ²	Paksuus μm	Tiheys kg/m ³	Vetoindeksi ks Nm/g	Vetoindeksi ps Nm/g
1	41,5	41,1 ± 0,9	1010 ± 17	98 ± 14	37 ± 3
2	42,2	45,5 ± 1,0	926 ± 22	68 ± 17	32 ± 9
3	42,2	51,6 ± 1,7	817 ± 27	114 ± 1	41 ± 2
4	61,3	68,2 ± 1,3	899 ± 17	104 ± 8	42 ± 2
5	38,2	39,9 ± 0,8	957 ± 21	68 ± 5	30 ± 2
6	38,1	45,6 ± 0,8	835 ± 15	70 ± 2	33 ± 1
7	43,0	42,5 ± 0,6	1010 ± 15	72 ± 8	37 ± 4
8	41,4	42,4 ± 0,7	977 ± 15	56 ± 5	34 ± 2
9	54,2	46,7 ± 0,6	1160 ± 14	40 ± 1	32 ± 1
10	42,6	43,6 ± 0,8	979 ± 19	41 ± 5	42 ± 1
11	43,5	45,1 ± 0,5	964 ± 10	83 ± 5	32 ± 5

Taulukko 4.

Koepapereista puristuksen jälkeen määritetyt murto-
venymät (95 %:n luottamusväleinen) ja repäisylujuudet.

Paperi	Murtove- nymä, ks %	Murtove- nymä, ps %	Repäisy- indeksi, ks mNm ² /g	Repäisy- indeksi, ps mNm ² /g
1	1,3 ± 0,3	2,1 ± 0,4	5,8	6,9
2	1,3 ± 0,2	2,0 ± 0,2	5,8	6,7
3	1,9 ± 0,1	4,5 ± 0,3	5,2	6,4
4	2,1 ± 0,2	3,8 ± 0,2	6,5	9,0
5	1,2 ± 0,1	2,4 ± 0,1	5,1	6,3
6	1,0 ± 0,0	3,2 ± 0,2	4,6	6,6
7	1,7 ± 0,2	3,2 ± 0,3	5,6	6,4
8	0,8 ± 0,1	2,7 ± 0,1	5,6	5,9
9	0,5 ± 0,0	4,0 ± 0,4	4,4	5,1
10	0,5 ± 0,0	2,0 ± 0,1	5,5	5,0
11	1,3 ± 0,1	2,4 ± 0,2	5,1	7,2

Taulukko 1. Valkaistusta koe-erästä määritetyt paperitekniset ominaisuudet.

Neliömassa, g/m ²	40,3
Vetoindeksi ks, Nm/g	96
Vetoindeksi ps, Nm/g	43
Pintalujuus Dennison MG	16
Karheus Bendtsen MG, ml/min	50
Karheus Bendtsen UG, ml/min	220
Huokoisuus Gurley-Hill, s	31
Vesiabsorptio Cobb ₆₀ MG, g/m ²	28
Vesiabsorptio Cobb ₆₀ UG, g/m ²	22
Kiilto Hunter, %	19
Kosteus, %	2,6
Uute-pH	7,0

Paperierän massakoostumus oli n. 70 % valkaistua mäntysulfaattia ja n. 30 % valkaistua koivusulfaattia. Paperin sisältämät lisäaineet olivat hydrofobiliima, massatärkkelys ja retentionparannusaine.

TERÄSRULLA N:O	PAKSUUS MM	KOKONAIS- REDUKTIO, %	VIIM. PISTON REDUKTIO, %	NOPEUS M/MIN	KEL. VEDOT II I	LAMPÖTILA C	VALIPAPERI N:O	PINTAVIRHE 254
416801	1,60	59,9	13,5	170	48 48	98	L214590502	
416773	2,00	49,9	9,1	250	56 50	96	L214590502	
417752	2,00	49,9	9,1	250	55 50	96	L214590502	
416793	1,60	59,9	11,1	150	48 48	96	L214590502	
416792	1,60	59,9	11,1	200	48 48	95	L214590502	
417751	2,00	49,9	9,1	200	50 50	94	L214590502	
417733	2,00	50,0	9,1	200	50 50	93	L214610602	
417732	2,00	50,0	9,1	200	50 50	88	L214610602	
416905	1,47	50,8	9,3	220	44 45	-	L214610602	
417753	2,00	49,9	9,1	200	50 50	90	L214610602	KYLLÄ
416865	1,25	75,1	7,4	200	36 36	53	L214610602	
416772	2,00	50,0	14,9	150	60 50	95	L214600102	
417702	2,00	49,9	9,1	200	50 50	105	L214600102	
417822	2,00	49,9	9,1	200	50 50	-	L214600102	
417173	1,51	49,5	7,4	200	34 34	80	TR1314944	
417174	1,51	49,7	7,4	200	33 33	85	TR1314944	
417251	3,00	49,9	9,1	200	60 50	110	TR1314944	
417452	1,50	49,7	11,8	200	39 39	96	TR1314944	
417453	1,50	49,8	12,8	200	39 39	87	TR1314944	
417434	1,50	49,8	12,8	200	39 39	98	L214580901	
417112	6,59	24,9	4,8	160	50 50	52	L214580901	
417261	3,00	49,9	9,1	200	60 50	103	L214580901	
417941	1,50	49,8	11,8	200	45 45	99	L214580901	
417933	1,50	49,8	8,0	200	40 40	88	L214580901	
417935	1,50	49,8	9,1	200	38 38	78	T13512600	
417454	2,60	56,6	7,1	160	60 50	102	T13512600	
417263	3,01	49,8	8,5	160	60 50	107	T13512600	KYLLÄ
417133	6,13	41,2	7,4	200	60 50	71	T13512600	
417253	3,00	50,0	8,5	150	50 50	102	T13512600	KYLLÄ
417113	4,00	50,0	7,0	200	60 50	85	T13512600	

TERÄSRULLA N:O	PAKSUUS MM	KOKONAIS- REDUKTIO, %	VIIM. PISTON REDUKTIO, %	NOPEUS M/MIN	KEL. VEDOT II I	LÄMPÖTILA C	VALIPAPERI N:O	PINTAVIRHE 254
417382	2,03	66,2	7,7	150	45 45	95	TR1314830	
417372	2,00	49,9	14,2	150	50 48	94	TR1314830	
417134	2,50	58,3	8,4	160	60 50	91	TR1314830	
412221	2,50	58,4	7,4	160	55 50	89	TR1314830	
417171	1,56	47,8	12,4	160	38 39	85	TR1314830	
417934	1,50	50,0	14,3	200	40 40	101	TR1314871	
417244	2,00	49,9	9,1	200	50 50	85	TR1314871	
417252	2,50	58,3	7,4	200	50 50	101	TR1314871	
417932	1,60	46,5	9,6	170	40 41	76	TR1314871	
417554	1,60	46,5	10,1	160	39 40	77	TR1314926	
416371	3,92	44,0	8,8	130	60 55	107	TR1314926	
417424	2,95	50,8	8,7	150	60 50	102	TR1314926	
416662	1,85	53,6	8,9	200	38 38	89	L214440602	
416753	1,50	49,8	5,1	200	30 30	78	L214440602	
416754	1,50	49,8	5,7	200	32 32	83	L214440602	
416652	1,97	50,6	8,8	200	39 40	83	L214440602	
416654	1,97	50,6	14,0	200	42 42	102	L214440702	
416653	1,97	50,6	14,0	200	42 42	101	L214440702	
416755	1,50	49,8	6,8	200	32 32	86	L214440702	
417634	2,00	49,7	9,1	250	40 40	91	L214440702	
416726	2,80	15,2	15,2	150	30 12	38	L214440702	
415552	1,97	50,3	8,8	200	40 40	85	L214440702	
417633	2,00	49,9	9,1	200	40 40	69	TR1213739	
416721	4,57	42,9	5,8	200	60 50	96	TR1213739	
401031	1,57	60,8	8,2	200	30 33	87	TR1213739	
417632	2,00	49,9	8,7	200	40 40	95	TR1213739	KYLLÄ
415505	2,25	62,4	10,0	160	46 46	99	TR1213739	
417565	2,50	58,2	10,7	150	50 50	95	TR1213739	
417543	1,50	49,8	14,3	200	40 40	88	TR1314926	
417441	2,06	48,6	14,2	200	50 50	96	TR1314926	

TERÄSRULLA N:O	PAKSUUS MM	KOKONAIS- REDUKTIO, %	VIIM. PISTON REDUKTIO, %	NOPEUS M/MIN	KEL. VEDOT II I	LÄMPÖTILA C	VALIPAPERI N:O	PINTAVIRHE 254
416427	1,37	45,0	11,6	150	36 36	70	TR1314925	
418093	1,53	61,7	11,0	160	39 40	84	TR1314925	
417254	2,50	58,3	7,4	200	50 50	98	TR1314925	
417374	2,00	36,1	13,2	200	45 45	64	TR1314925	
417381	3,00	50,0	7,7	200	60 50	100	TR1314925	
417351	1,51	49,5	13,2	200	39 39	84	TR1314925	KYLLÄ
417431	2,08	65,4	8,0	200	50 50	96	L214470503	
417951	2,00	49,9	9,1	250	47 47	92	L214470503	KYLLÄ
418105	2,95	50,8	31,1	200	50 50	102	L214470503	
416372	3,92	43,9	9,7	200	60 50	109	TR1314842	
418032	1,82	54,4	9,0	200	45 45	91	TR1314842	
418113	2,95	50,8	9,0	200	60 60	107	TR1314842	
418114	2,95	50,8	29,4	200	60 50	106	TR1314842	
418041	1,60	59,9	11,1	200	45 45	103	TR1314928	
418044	1,60	59,9	13,0	200	46 46	92	TR1314842	KYLLÄ
418051	1,60	59,9	10,1	250	42 42	103	TR1314928	
418053	1,60	59,9	10,1	250	42 42	109	TR1314928	
416881	1,50	52,4	8,5	200	45 45	80	L214610103	
416814	5,00	37,4	11,0	100	60 48	93	L214610103	
416793	0,80	50,0	11,1	250	22 23	80	L214610103	
416801	0,80	50,0	8,0	100	22 21	-	?	
417701	2,00	49,9	10,3	200	50 50	100	L214590403	
417754	2,00	49,9	9,9	200	48 48	90	L214590403	
417713	2,50	58,3	7,7	200	60 50	111	L214590403	KYLLÄ
417711	2,50	58,4	7,7	200	60 50	102	L214550502	KYLLÄ
417843	6,00	29,4	8,4	150	60 50	70	L214550502	
417722	2,00	66,7	9,1	200	60 50	91	L214550502	
415784	2,82	53,0	10,2	150	60 50	103	L214550502	
417763	2,50	58,3	7,4	200	60 50	70	L214590703	
418231	2,50	58,3	5,7	200	53 50	92	L214470503	KYLLÄ

TERÄSRULLA N:O	PAKSUUS MM	KOKONAIS- REDUKTIO, %	VIIM. PISTON REDUKTIO, %	NOPEUS M/MIN	KEL. VEDOT II I	LAMPÖTILA C	VALIPAPERI N:O	PINTAVIRHE 254
418233	3,00	49,9	9,1	200	60 50	109	L214470503	
417601	1,97	50,6	11,3	200	42 45	93	L214470503	
417602	1,97	50,6	14,0	200	42 42	100	L214470503	
417603	1,97	50,6	14,0	200	42 42	98	L214470503	
417604	1,97	50,6	14,0	200	42 42	99	L214470503	
417631	2,00	49,9	9,1	200	42 42	-	L214470502	
418223	1,50	49,8	8,0	250	32 32	90	L214470502	
418224	1,50	50,0	8,0	200	30 30	77	L214470502	
418225	1,50	50,0	7,4	200	30 30	79	L214470502	
418244	1,50	49,8	7,4	200	32 32	83	L214470804	KYLLÄ
418243	1,50	50,0	8,0	250	32 32	87	L214470804	
416473	2,40	48,9	7,7	200	50 50	91	L214470804	
416474	2,40	48,8	7,7	200	50 50	90	L214470804	
416472	3,00	25,0	25,0	150	60 12	-	L214470804	
417576	1,82	32,3	32,3	150	38 12	55	L214470804	
417605	1,97	50,6	17,9	200	42 42	92	L214470804	
411196	1,50	62,5	8,0	200	32 32	55	TR1314805	
418255	1,50	49,8	9,6	200	32 32	66	TR1314805	
417635	2,00	49,9	9,5	200	42 42	95	TR1314805	
418254	1,50	49,8	9,6	300	32 32	96	TR1314805	
418222	1,50	49,8	9,6	300	32 32	100	TR1314805	
418252	1,50	50,0	8,0	200	30 30	85	TR1314805	
418251	1,50	50,2	8,0	200	28 28	79	TR1314881	
418383	1,50	50,0	12,8	200	32 32	84	TR1314881	
418382	1,50	50,0	14,3	300	32 32	95	TR1314805	
418234	3,00	49,9	7,4	300	50 50	100	TR1314933	
418261	2,50	58,3	7,7	300	50 50	106	TR1314933	
418265	2,00	49,9	9,9	200	40 40	88	TR1314933	
418232	3,00	50,0	7,4	200	60 50	90	TR1314933	
417651	3,00	49,9	9,1	200	60 50	103	TR1314933	

TERÄSRULLA N:O	PAKSUUS MM	KOKONAIS- REDUKTIO, %	VIIM. PISTON REDUKTIO, %	NOPEUS M/MIN	KEL. VEDOT II I	LÄMPÖTILA C	VALIPAPERI N:O	PINTAVIRHE 254
418201	2,00	66,7	8,7	200	42 42	99	TR1314859	KYLLÄ
418385	2,00	50,0	8,7	200	42 42	88	TR1314859	
418413	1,53	61,8	7,8	200	32 32	-	TR1314859	
418203	1,95	51,1	9,7	200	41 41	91	TR1314859	KYLLÄ
418204	2,04	65,9	7,3	200	42 42	86	TR1314859	
417734	2,00	50,2	9,1	200	60 50	-	L214590703	
418462	1,50	62,4	10,7	200	45 45	93	L214590703	
418463	1,50	62,4	10,7	200	45 45	98	L214590703	
416783	3,00	49,9	8,5	160	60 50	100	L214590703	
416835	4,00	50,1	5,9	200	60 50	68	L214590703	
418634	1,00	66,7	9,9	200	29 29	34	L214590703	
418633	0,80	73,2	9,1	200	22 23	70	L214570503	KYLLÄ
418624	1,50	49,8	7,4	200	40 40	75	L214570903	KYLLÄ
418613	1,20	59,9	9,1	200	36 36	78	L214570903	
416135	1,00	66,7	9,1	176	30 30	70	L214570903	
418631	1,50	50,0	9,1	200	45 47	90	L214570903	
418623	1,50	50,0	8,5	200	45 45	75	L214570903	
KESKIAARVO	2,10	52,3	10,0	197	45 42	89,2		11,70%

TERÄSRULLA N:O	PAKSUUS MM	KOKONAIS- REDUKTIO, %	VIIM. PISTON REDUKTIO, %	NOPEUS M/MIN	KEL. VEDOT II I	LÄMPÖTILA C	VALIPAPERI N:O	PINTAVIRHE 254
418603	1,20	60,0	9,1	200	36 36	85	L219060202	
418522	0,80	73,3	8,0	200	22 24	67	L219060202	
418551	2,00	50,0	9,1	200	60 50	93	L219060202	
417075	3,00	49,9	7,7	170	60 50	-	L219052503	
417714	2,78	53,6	9,2	150	60 50	-	L219052503	
417074	3,00	49,9	8,5	150	60 50	94	L219052503	
417724	2,00	66,7	7,8	170	60 50	-	L219052503	
417721	3,00	50,0	8,5	180	60 50	97	L219052503	
417712	2,50	58,3	6,7	150	60 50	96	L219052503	
418562	3,00	50,0	9,1	150	60 50	104	L219060502	
418881	3,00	49,9	8,5	150	60 50	108	L219060502	
418583	2,00	49,9	9,9	150	60 50	90	L219060502	
418553	2,00	50,0	9,1	200	60 50	97	L219060502	
418581	2,00	49,9	9,1	220	60 50	96	L219060502	
418542	1,50	50,0	8,5	250	45 45	82	L219060502	
418593	1,50	49,8	8,5	250	45 45	89	L219052202	
418632	1,50	49,8	8,0	200	45 45	88	L219052202	
418591	1,50	50,0	8,0	250	45 45	93	L219052202	
418103	2,58	56,9	8,5	200	50 50	97	L219060803	
418111	2,95	50,8	7,8	200	60 50	103	L219060803	
418104	2,58	57,0	6,5	200	50 50	97	L219060803	KYLLÄ
417985	2,00	50,0	9,5	200	52 50	95	L219060803	KYLLÄ
417893	1,44	51,8	8,9	300	36 36	83	L219060803	
417881	1,44	51,8	8,9	200	35 35	77	L219060803	
417894	1,44	51,8	9,4	200	35 35	74	L219060803	
417892	1,44	51,8	8,9	300	36 36	83	L219060101	KYLLÄ
417903	1,51	49,5	9,0	300	39 39	92	L219060101	
417891	1,44	51,8	8,9	300	39 39	88	L219060101	
417901	1,44	51,8	9,4	200	35 35	78	L219060101	KYLLÄ
417904	1,51	49,7	7,9	250	38 38	86	L219060201	

TERÄSRULLA N:O	PAKSUUS MM	KOKONAIS- REDUKTIO, %	VIIM. PISTON REDUKTIO, %	NOPEUS M/MIN	KEL. VEDOT II I	LÄMPÖTILA C	VÄLIPAPERI N:O	PINTAVIRHE 254
417902	1,44	52,0	10,0	250	35 35	93	L219060201	
417443	1,63	59,1	9,4	200	42 42	92	L219060201	
418112	2,95	50,8	9,2	160	60 50	104	L219060201	
416426	5,90	13,2	13,2	130	60 12	50	L219060201	
417422	2,95	50,8	8,7	160	60 50	99	L219060201	KYLLÄ
417931	1,60	46,5	12,1	200	42 42	75	L219060503	
416373	2,94	41,1	4,2	200	60 50	89	L219060503	
418102	2,58	56,9	6,9	200	60 50	94	L219060503	
416374	2,94	41,1	3,6	200	60 50	93	L219060503	
418042	1,60	59,9	8,6	200	39 39	78	L219060503	
418033	1,95	51,1	9,3	200	52 50	90	L219060503	
418085	2,22	73,9	8,2	200	36 38	86	L219060603	
416842	3,30	17,5	17,5	200	40 12	45	L219060103	
414903	5,50	32,2	8,3	200	60 60	77	L219060103	
416782	3,00	56,5	6,8	200	50 50	88	L219060103	
417744	2,80	53,3	7,6	200	60 50	85	L219060103	
418515	3,00	20,6	20,6	100	45 12	55	L219060103	
417764	2,50	58,3	7,4	200	55 55	80	L219060103	
418612	1,20	60,0	9,8	200	33 33	74	L219060103	
418464	2,00	49,6	9,9	200	50 50	66	L219060103	
418592	1,50	49,8	9,6	300	45 47	91	L219052402	KYLLÄ
416134	1,50	49,8	9,6	300	45 46	85	L219052402	
417823	2,00	57,2	9,1	200	60 50	98	L219052402	
418523	1,20	60,0	10,4	200	36 36	85	L219052402	
417704	1,20	69,9	9,8	200	37 39	80	L219052402	KYLLÄ
418622	1,00	66,7	9,1	300	29 30	90	L219060402	
418532	1,00	66,6	9,1	200	30 29	75	L219060402	KYLLÄ
418541	1,00	66,6	9,1	200	31 34	80	L219060402	KYLLÄ
418544	0,80	73,3	7,0	200	24 27	78	L219060402	
417824	2,00	49,9	8,3	200	50 50	98	L219060402	

TERÄSRULLA N:O	PAKSUUS MM	KOKONAIS- REDUKTIO, %	VIIM. PISTON REDUKTIO, %	NOPEUS M/MIN	KEL. VEDOT II I	LÄMPÖTILA C	VALIPAPERI N:O	PINTAVIRHE 254
416161	0,70	76,6	14,6	200	20 24	75	L219060702	
418594	1,25	58,3	8,8	200	38 40	85	L219060702	
418524	0,80	73,3	5,9	200	24 27	71	L219060702	KYLLÄ
418062	3,32	61,2	9,0	200	50 50	103	L219060701	KYLLÄ
414712	4,70	44,8	6,0	200	50 50	103	L219060701	
418721	2,00	49,9	9,9	200	50 50	95	L219060701	
418133	3,35	58,1	6,9	200	55 55	104	L219060701	
418064	4,06	52,2	8,8	200	55 55	112	L219060701	
418733	2,50	58,3	7,7	200	60 60	98	L219060701	
418683	3,00	50,1	10,4	200	60 60	104	L219060701	
418701	1,43	52,2	9,5	300	36 36	96	L219060603	
418702	1,43	52,2	8,9	300	36 36	74	L219060603	
418703	1,43	52,2	7,7	200	36 36	85	L219060603	
418713	1,43	52,2	7,7	250	36 36	85	L219060603	
418704	1,50	50,0	9,1	200	39 39	85	L219060403	
418712	1,43	52,3	7,7	250	36 36	85	L219060403	
418714	1,50	50,0	9,1	200	36 38	85	L219060403	
418924	1,44	51,8	8,3	300	36 38	95	L219060403	
413451	2,22	60,7	8,3	150	60 50	90	L219060903	
418931	1,44	51,8	7,1	250	36 36	80	L219060903	
418932	1,44	51,8	7,7	250	36 36	87	L219060903	
418944	1,47	50,8	8,7	300	36 38	88	L219060903	
418953	1,50	49,8	6,8	300	36 38	91	L219060303	
418942	1,47	51,0	8,7	400	36 38	95	L219060303	KYLLÄ
418934	1,42	52,7	9,6	200	35 36	78	L219060303	
418043	1,60	59,9	11,1	160	41 41	94	L219060303	
417421	1,50	50,0	12,8	180	37 37	85	L219060303	
418921	1,44	51,8	10,0	200	36 36	75	L219060301	
418923	1,44	52,0	10,0	200	36 36	88	L219060301	
418922	1,44	51,8	10,0	180	36 37	77	L219060301	

TERÄSRULLA N:O	PAKSUUS MM	KOKONAIS- REDUKTIO, %	VIIM. PISTON REDUKTIO, %	NOPEUS M/MIN	KEL. VEDOT II I	LÄMPÖTILA C	VÄLIPAPERI N:O	PINTAVIRHE 254
418933	1,44	51,8	10,0	200	36 36	75	L219052501	KYLLÄ
418943	1,47	50,8	10,4	200	36 36	77	L219052501	KYLLÄ
340604	4,00	58,1	7,8	200	60 60	109	L219060901	
418075	2,50	55,4	10,7	200	60 60	88	L219060901	
417542	1,50	50,0	8,0	200	38 38	84	L219060901	
417983	6,00	25,0	6,5	200	60 50	83	L219060901	
418732	2,50	58,3	7,4	200	60 50	98	L219060901	KYLLÄ
419014	5,00	37,4	4,9	250	55 55	94	L219060901	
417153	2,05	65,8	8,9	200	55 50	93	L219060901	
418101	2,58	56,9	7,9	200	60 60	95	L219060901	
418026	2,95	63,1	8,4	220	60 60	99	L219060901	
417984	5,00	37,5	5,7	200	60 60	110	L219060901	
419011	6,00	24,9	7,0	200	60 60	88	L219052501	
418914	1,96	50,9	8,4	200	51 51	90	L219052101	
418894	1,57	60,8	9,2	200	40 40	92	L219052101	
418981	1,92	57,3	7,7	200	49 49	90	L219052101	
418063	6,59	22,5	5,2	150	58 58	76	L219052101	
418122	2,89	51,8	8,5	200	60 50	110	L219052101	
418121	2,58	57,0	8,5	160	60 50	93	L219052101	
418912	1,92	52,0	9,4	170	48 49	-	L219060401	
418913	1,92	51,9	10,3	160	48 49	86	L219060401	
418123	2,45	59,1	9,3	200	55 55	-	L219060401	
417423	4,38	54,4	14,7	200	55 55	100	L219060401	
418131	3,34	58,1	4,6	200	55 55	98	L219060401	
418132	3,88	51,4	4,4	200	60 50	99	L219060401	
418935	1,44	51,8	10,0	200	36 36	66	L219060401	
418941	1,44	51,8	10,0	200	36 37	73	L219060801	
417731	2,00	50,0	9,1	200	50 50	80	L219052203	
418433	2,50	58,3	8,4	200	55 55	-	L219052203	
418823	1,47	75,0	16,7	200	29 29	92	L219052203	

TERÄSRULLA N:O	PAKSUUS MM	KOKONAIS- REDUKTIO, %	VIIM. PISTON REDUKTIO, %	NOPEUS M/MIN	KEL. VEDOT II I	LÄMPÖTILA C	VALIPAPERI N:O	PINTAVIRHE 254
418834	4,06	49,3	5,6	200	60 50	97	L219052203	
415053	1,50	57,7	9,1	200	50 50	75	L219052203	
418822	1,20	70,0	8,4	200	36 39	-	L219060902	KYLLÄ
419103	3,88	54,4	9,1	200	60 60	100	L219060902	KYLLÄ
419161	1,44	52,0	9,4	200	42 42	75	L219060902	
419162	1,47	51,0	8,1	200	42 42	55	L219060902	
419111	1,47	51,3	7,0	200	42 42	65	L219060902	
414903	2,80	49,1	5,1	150	60 50	85	L219060902	
419114	1,47	63,3	8,1	200	46 48	85	L219060203	
414951	2,95	37,2	10,6	160	60 50	85	L219060203	
419174	1,20	59,9	12,4	170	35 36	79	L219060203	KYLLÄ
416933	1,00	66,7	9,1	200	28 29	73	L219060203	
418461	2,00	49,9	9,1	200	50 50	90	L219060203	
419073	2,00	66,7	13,0	200	50 50	98	L219052502	
418604	1,50	56,1	11,8	200	45 45	90	L219052502	
418481	1,25	68,9	10,7	200	36 36	-	L219052502	
418482	2,00	50,0	9,1	200	60 50	90	L219052502	
418864	3,50	56,3	6,7	200	60 50	95	L219052502	
418874	2,00	66,7	9,1	200	55 55	98	L219052102	
418863	4,00	49,9	4,8	200	55 55	104	L219052102	
418854	6,00	25,7	5,5	200	50 50	65	L219052102	
419171	1,50	56,1	9,6	200	45 45	90	L219052102	
417053	6,35	25,2	8,0	200	60 50	54	L219052102	
419173	1,50	49,8	6,3	200	40 42	75	L219052102	
419232	4,00	50,0	5,2	200	60 50	-	L219052102	
418582	2,00	49,9	9,5	200	60 50	95	L219052102	
417824	0,94	53,0	10,5	200	29 29	72	L219060302	
418573	3,00	49,9	9,6	200	60 50	100	L219060302	
418561	2,50	58,3	5,7	200	60 50	100	L219060302	
419061	2,50	58,4	7,7	200	60 50	104	L219052103	

TERÄSRULLA N:O	PAKSUUS MM	KOKONAIS- REDUKTIO, %	VIIM. PISTON REDUKTIO, %	NOPEUS M/MIN	KEL. VEDOT II I	LÄMPÖTILA C	VÄLIPAPERI N:O	PINTAVIRHE 254
416792	0,80	50,0	14,0	100	20 23	54	L219052103	
418503	6,00	49,9	5,9	200	60 50	73	L219060302	KYLLÄ
418504	4,00	50,0	5,9	200	60 50	90	L219060302	
418484	4,00	50,1	5,9	200	60 50	103	L219060302	
418476	5,00	42,5	8,8	150	60 50	85	L219060302	
418531	1,00	66,7	9,1	200	29 29	74	L219060302	
418485	6,01	25,3	6,8	200	60 50	55	L219060302	
407532	3,00	51,4	10,5	200	60 60	92	L219060302	
418584	2,00	49,9	9,9	200	55 50	85	L219060302	
418882	3,00	49,9	6,3	200	50 50	85	L219052403	
419184	3,00	50,0	10,4	200	55 55	98	L219052403	
418563	3,00	50,1	9,1	200	60 50	97	L219052403	
419181	2,50	58,3	5,7	200	60 50	95	L219052403	
418824	2,00	66,6	8,7	200	60 50	89	L219052403	
419182	3,00	50,0	9,1	200	60 50	99	L219052403	
419241	3,00	49,9	9,1	200	60 50	98	L219052403	
419063	3,00	50,0	9,1	200	60 50	100	L219052403	
419243	2,00	66,6	8,7	200	60 50	92	L219052403	
419201	2,00	50,0	9,1	200	60 50	88	L219060102	
419202	2,00	50,0	9,1	200	60 50	93	L219060102	
419244	3,00	49,8	9,1	200	60 50	90	L219060102	
419062	3,00	50,0	9,1	200	60 50	96	L219060102	
419112	1,93	51,6	9,8	200	57 50	98	L219060102	
419115	1,82	54,6	9,0	200	54 50	98	L219060102	
419121	1,82	66,3	9,0	200	54 50	85	L219060102	
419183	3,50	12,3	12,3	100	40 12	41	L219060602	
415052	4,63	37,9	3,1	200	57 57	62	L219060602	
419203	2,00	50,0	9,1	200	50 50	80	L219060602	
419204	2,00	50,1	9,1	200	55 50	85	L219060602	
418483	3,00	50,1	9,6	200	60 50	100	L219060602	

TERÄSRULLA N:O	PAKSUUS MM	KOKONAIS- REDUKTIO, %	VIIM. PISTON REDUKTIO, %	NOPEUS M/MIN	KEL. VEDOT II I	LÄMPÖTILA C	VÄLIPAPERI N:O	PINTAVIRHE 254
415781	1,95	51,1	9,3	200	50 50	90	L219060602	
419072	2,50	58,3	7,4	200	60 50	96	L219060602	
419042	1,40	65,0	9,7	200	42 42	80	L219060602	
419043	1,40	65,0	9,7	200	42 42	85	L219052303	
416164	1,95	54,7	2,5	200	55 50	90	L219052303	
418512	2,80	50,9	6,7	200	50 50	75	L219052303	
419163	1,50	62,4	8,0	200	45 45	86	L219052303	
418611	0,80	73,2	11,1	200	23 23	75	L219052303	
418521	0,80	73,2	8,0	200	23 23	66	L219060802	
419211	2,00	49,9	9,1	200	60 50	90	L219060802	
419795	6,00	24,8	5,5	200	60 50	66	L219060802	
419784	4,00	49,9	5,4	100	60 50	99	L219060802	
418853	3,00	49,9	10,4	200	60 55	-	L219060802	
418862	5,00	37,5	5,3	200	60 55	-	L219060802	
420113	1,44	51,8	10,0	250	38 39	77	L219060801	KYLLÄ
414244	2,84	52,7	8,4	150	60 50	71	L219060801	
411544	2,05	48,8	6,8	200	50 50	85	L219060801	
420112	1,44	51,8	8,3	200	36 36	80	L219060801	
420114	1,51	49,5	7,4	200	40 40	-	L219060801	KYLLÄ
417212	7,00	25,5	6,7	150	55 55	-	L219052401	
417981	6,13	33,5	7,7	200	55 55	-	L219052401	
416613	4,92	29,7	5,4	200	60 60	-	L219052401	
418734	2,50	58,4	10,7	130	60 50	96	L219052401	
418731	2,50	58,3	10,1	150	60 50	97	L219052401	
418024	3,12	61,0	4,0	200	60 60	-	L219052401	
419015	6,00	24,9	7,7	150	60 50	90	L219052401	
418902	1,92	52,0	10,7	160	49 49	-	L219052401	
420074	1,50	49,8	8,0	200	40 40	85	L219052201	
420082	1,50	49,8	8,0	200	40 40	76	L219052201	
419995	5,92	50,7	8,4	200	60 50	-	L219052201	

TERÄSRULLA N:O	PAKSUUS MM	KOKONAIS- REDUKTIO, %	VIIM. PISTON REDUKTIO, %	NOPEUS M/MIN	KEL. VEDOT II I	LÄMPÖTILA C	VÄLIPAPERI N:O	PINTAVIRHE 254
418025	3,12	61,0	7,7	200	60 50	111	L219052201	
420081	1,50	50,0	6,3	200	39 39	78	L219052201	
KESKIVARVO	2,45	52,5	8,4	201	49 45	86,8		9,90%

LUKUSÄIKPL

~~TEKNILLINEN KORKEAKOULU~~
~~Puunjalostustekniikan laitos~~
~~Kirjasto~~